

C&S SIG

CONFORTO BIOCLIMÁTICO EM PORTUGAL CONTINENTAL NO PERÍODO 1941-2000

Cartografia e detecção de evolução

Sofia Isabel Valença Rodrigues da Cunha Ribeiro Moita

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica

Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação
da Universidade Nova de Lisboa

CONFORTO BIOCLIMÁTICO EM PORTUGAL CONTINENTAL
NO PERÍODO 1941- 2000:
Cartografia e Detecção de Evolução

Dissertação orientada por
Professora Doutora Júlia Seixas
Faculdade de Ciências da Universidade Nova de Lisboa

Lisboa, 19 de Fevereiro de 2004

À memória do meu pai,

Ao Filipe, António Maria e Gonçalo Cristovão

À minha mãe,

A todos os meus sobrinhos.

CONFORTO BIOCLIMÁTICO EM PORTUGAL CONTINENTAL
NO PERÍODO 1941- 2000:
Cartografia e Detecção de Evolução

Resumo

No presente trabalho é cartografado o índice de conforto bioclimático em Portugal Continental. Este índice é desenvolvido com base na escala bioclimática universal de Demetrio Brazol (1955), e tem por base valores de temperatura média, e da humidade relativa do ar às 9:00 T.U., assumindo pressão constante.

Os dados climáticos dizem respeito aos períodos 1941-70, 1961-90 e 1971-00. As cartas foram implementadas num Sistema de Informação Geográfica (SIG), com o programa ArcGis8.2 e ArcView 3.2.

Os valores do índice de conforto bioclimático, são cartografados, testados e calibrados com diferentes técnicas de interpolação: Peso do Inverso da Distância, Radial Basis Function, Polinomial local, Kriging Normal e Universal e Regressão com Krigagem de Resíduos. O último método foi seleccionado para a produção cartográfica final, pela qualidade que demonstrou.

Analisa-se a evolução temporal e espacial do índice de conforto bioclimático. Entre 1941-70 e 1971-00, as diferenças dos valores médios do referido índice não são estatisticamente significativas.

Ao longo dos últimos 40 anos estudados (1961-2000), Janeiro e Outubro apresentam tendências espaciais para diminuição do índice de conforto bioclimático, enquanto os meses característicos da estação da Primavera e do Verão, demonstram tendência espacial para aumento.

BIOCLIMATIC COMFORT INDEX
IN PORTUGAL CONTINENTAL AT 1941- 2000:
Mapping and Evolution

Abstract

In the present work, the bioclimatic comfort index is mapped for Portugal Continental. This index is developed through the bioclimatic universal scale of Demetrio Brazol (1955), and is based on values of the mean air temperature, and relative humidity at 9:00 T.U., at constant pressure.

The climatic data has been reported to 1941-70, 1961-90 and 1971-00 periods. The maps were implemented in a Geographical Information System (GIS) using ArcGis 8.2 and ArcView 3.2.

The values of the bioclimatic comfort index are mapped, tested and calibrated applying several interpolation methods: Inverse Distance Weighted, Radial Basis Function, Local Polynomial, Normal and Universal Kriging, and Regression with Residual Kriging. The last one, was chosen for final mapping due to its spatial accuracy.

The temporal and spatial evolution of the bioclimatic index is analysed. Between 1941-70 and 1971-00, the differences of bioclimatic comfort index medium values are not statistically significant. During the last 40 years (1961-2000), the January and October maps present negative trends, while the Spring and Summer typical months present positive trends.

PALAVRAS-CHAVE

Climatologia

Bioclimatologia

Sistemas de Informação Geográfica

Evolução

Cartografia

Índice Conforto Bioclimático

KEYWORDS

Climatology

Bioclimatology

Geographical Information Systems

Evolution

Cartography

Bioclimatic Comfort Index

ABREVIATURAS

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

EM – Erro Médio

EQM – Erro Quadrático Médio

MER – Média dos Erros Relativos

EMR – Erro Médio Relativo

ERQM – Erro Relativo Quadrático Médio

r – Coeficiente de Correlação

Icb – Índice de Conforto Bioclimático

sig – Significância

Cp_a - Calor específico do ar

L - Calor latente de evaporação da água

Cp_v - Calor específico do vapor de água

q - Humidade específica do ar

e - Tensão actual de vapor

P – Pressão atmosférica

e_s - Ar atmosférico saturado

T – Temperatura do Ar

HR - Humidade Relativa

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à orientadora e co-orientadora desta dissertação, a Professora Doutora Júlia Seixas e Mestre Fátima Espírito Santo.

À Professora Doutora Júlia Seixas, pelo estímulo constante e pela dedicação demonstrada na orientação desta dissertação, que constituiu para mim uma preciosa fonte de inspiração.

À Dr^a Fátima Espírito Santo, pela orientação na escolha do tema do conforto bioclimático, e por todas as ideias e conselhos que me transmitiu, as quais foram essenciais para o desenvolvimento da dissertação.

Agradeço também a oportunidade de desenvolver este projecto no âmbito do meu trabalho no Departamento de Clima e Ambiente Atmosférico do Instituto de Meteorologia.

Um agradecimento especial ao Instituto de Meteorologia, na pessoa dos seus representantes, Presidente e Vice-Presidentes, Dr^o Adérito Serrão, Professor Doutor Carlos da Câmara e Dr^o António Dias Baptista, respectivamente, pelo precioso apoio e facilidades concedidas para a utilização de dados climatológicos.

À Dr^a Ana Paula Marques, o meu muito obrigado, pela motivação que sempre me transmitiu.

Ao Dr^o Renato Carvalho, agradeço o interesse manifestado por este projecto e as ideias sobre a cartografia do índice de conforto bioclimático.

Ao Dr^o Adalberto Palma, pela disponibilidade, colaboração e sugestões apresentadas.

Ao Dr^o Álvaro Silva, pela forma interessada e incentivadora que sempre manifestou, tendo-se reflectido na sua colaboração e apoio pessoal.

À Dr^a Sílvia Antunes, gostaria de agradecer a sua disponibilidade no apoio estatístico.

À minha família, pela paciência e motivação constante, e por me ajudarem a ver que ao contrário do que por vezes parece, a alternativa existe.

Obrigado a todos.

ÍNDICE DO TEXTO

1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objectivos	3
1.3 Estrutura do Trabalho	7
2. Construção de Índices Bioclimáticos e Variáveis	9
2.1 Definição dos Parâmetros Climáticos	11
3. Metodologia	13
3.1 Análise Exploratória dos Dados (AED)	13
3.2 Análise de Tendência Temporal	14
3.3 Métodos de Interpolação	19
3.3.1 Métodos Determinísticos	19
3.3.2 Métodos Geo-Estatísticos	21
3.3.3 Critérios de Selecção do Método de Interpolação	24
3.4 Implementação	27
4. Aplicação a Portugal Continental	28
4.1. Períodos de Dados Disponíveis	28
4.2. Análise Exploratória dos Dados	31
4.3 Mapas de Estimação	40
4.3.1 Índice de Conforto Bioclimático (1941-70)	40
Janeiro	40
Abril	44
Julho	47
Outubro	50
4.3.2 Índice de Conforto Bioclimático (1961-90)	54
Janeiro	54
Abril	57
Julho	60
Outubro	63
4.3.3 Índice de Conforto Bioclimático (1971-00)	67
Janeiro	67
Abril	70
Julho	73
Outubro	76
4.4. Erros de Estimação	80
5. Comparação de Cartas do Índice de Conforto Bioclimático no Período 1961-90 Elaboradas com Diferentes Métodos	87
6. Detecção de Mudança/Evolução Climática	89
6.1 Evolução Temporal do Índice de Conforto Bioclimático (1941-1970 e 1971-2000)	89
6.1.1 Diferenças das Variáveis Climáticas Temperatura Média, Humidade Relativa às 9:00 TU e Entalpia do Ar	97
6.2 Análise de Tendência do Índice de Conforto Bioclimático no Período 1961-2000	100
6.2.1 Significância do Declive das Rectas de Regressão	112
6.3 Interpretação e Discussão	114
6.3.1 Séries climáticas 1941-70 e 1971-00	114
6.3.2 Série climática 1961-2000	115
7. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros	117
Referências Bibliográficas	122

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 . Escala Bioclimática Universal, adaptada de Brazol (1955).	5
Tabela 2. Escala de sensação bioclimática de Brazol/ Gregorczyk.	10
Tabela 3 . Tipos de decisão e tipos de erro associados a testes de hipóteses.	16
Tabela 4. Variabilidade de estimação.	25
Tabela 5 . Métodos de interpolação e suas características, (adaptada de ESRI, 2003).....	26
Tabela 6 . Medidas estatísticas do período 1941-70.	32
Tabela 7. Medidas estatísticas do período 1961-90.	34
Tabela 8. Medidas estatísticas do período 1971-00.	37
Tabela 9 . Parâmetros de interpolação em Janeiro 1941-70.....	41
Tabela 10. Parâmetros de interpolação em Abril 1941-70.	44
Tabela 11 . Parâmetros de interpolação em Julho 1941-70.....	47
Tabela 12 . Parâmetros de interpolação em Outubro 1941-70.	50
Tabela 13. Parâmetros de interpolação em Janeiro 1961-90.....	54
Tabela 14 . Parâmetros de interpolação em Abril 1961-90.	57
Tabela 15. Parâmetros de interpolação em Julho 1961-90.	60
Tabela 16. Parâmetros de interpolação em Outubro 1961-90.	63
Tabela 17 . Parâmetros de interpolação em Janeiro 1971-00.....	67
Tabela 18 . Parâmetros de interpolação em Abril 1971-00.	70
Tabela 19 . Parâmetros de interpolação em Julho 1971-00.....	73
Tabela 20. Parâmetros de interpolação em Outubro 1971-00.	76
Tabela 21 .T-student 1941-70 e 1971-00, em 31 estações climatológicas.	97
Tabela 22 . Declives estatisticamente significativos ($\text{sig}<0.05$).....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Interpolação polinomial local (ESRI,2001).	20
Figura 2. Estrutura do Trabalho.....	27
Figura 3. Rede de estações climatológicas 1941-70.....	30
Figura 4. Rede de estações climatológicas 1961-90.....	30
Figura 5. Rede de estações climatológicas 1971-00.....	31
Figura 6. Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg ⁻¹) em Janeiro 1941-70.....	32
Figura 7. Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg ⁻¹) em Abril 1941-70.....	33
Figura 8. Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg ⁻¹) em Julho 1941-70.	33
Figura 9. Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg ⁻¹) em Outubro 1941-70.	33
Figura 10. Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg ⁻¹) em Janeiro 1961-90.....	35
Figura 11 . Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg ⁻¹) em Abril 1961-90.....	35
Figura 12 . Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg ⁻¹) em Julho 1961-90.	35
Figura 13. Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg ⁻¹) em Outubro 1961-90.	36
Figura 14. Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg ⁻¹) em Janeiro 1971-00.....	37
Figura 15 . Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg ⁻¹) em Abril 1971-00.....	38
Figura 16 . Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg ⁻¹) em Julho 1971-00.	38
Figura 17 . Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg ⁻¹) em Outubro 1971-00.	38
Figura 18. Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Janeiro (1941-70).....	40
Figura 19. Histograma do índice de conforto bioclimático em Janeiro 1941-70.	43
Figura 20 . Índice de conforto bioclimático (1941-70) de Janeiro – Regressão com Krigagem de Resíduos.....	43
Figura 21 . Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Abril (1941-70).....	45
Figura 22. Histograma do índice de conforto bioclimático em Abril 1941-70.	46
Figura 23 . Índice de conforto bioclimático (1941-70) de Abril – Regressão com Krigagem de Resíduos.....	46
Figura 24. Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Julho (1941-70).....	48
Figura 25 . Histograma do índice de conforto bioclimático em Julho 1941-70.....	49
Figura 26. Índice de conforto bioclimático (1941-70) de Julho – Regressão com Krigagem de resíduos.	49
Figura 27 . Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Outubro (1941-70).	51
Figura 28 . Histograma do índice de conforto bioclimático em Outubro 1941-70.....	52
Figura 29 . Índice de conforto bioclimático (1941-70) de Outubro - Regressão com Krigagem de resíduos.....	52
Figura 30 . Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Janeiro (1961-90).....	55
Figura 31 . Histograma do índice de conforto bioclimático em Janeiro 1961-90.....	56

Figura 32 . Índice de conforto bioclimático (1961-90) de Janeiro - Regressão com Krigagem de resíduos .	56
Figura 33. Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Abril (1961-90).	58
Figura 34 . Histograma do índice de conforto bioclimático em Abril 1961-90.	59
Figura 35 . Índice de conforto bioclimático (1961-90) de Abril - Regressão com Krigagem de resíduos .	59
Figura 36. Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Julho (1961-90).	61
Figura 37 . Histograma do índice de conforto bioclimático em Julho 1961-90.	62
Figura 38 . Índice de conforto bioclimático (1961-90) de Julho – Regressão com Krigagem de Resíduos .	62
Figura 39 . Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Outubro (1961-90).	64
Figura 40. Histograma do índice de conforto bioclimático em Outubro 1961-90.	65
Figura 41 . Índice de conforto bioclimático (1961-90) de Outubro – Regressão com Krigagem de Resíduos .	65
Figura 42 . Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Janeiro (1971-00).	68
Figura 43 . Histograma do índice de conforto bioclimático em Janeiro 1971-00.	69
Figura 44 . Índice de conforto bioclimático (1971-00) de Janeiro - Regressão com Krigagem de	69
Figura 45 . Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Abril (1971-00).	71
Figura 46 . Histograma do índice de conforto bioclimático em Abril 1971-00.	72
Figura 47 . Índice de conforto bioclimático (1971-00) de Abril- Regressão com Krigagem de resíduos .	72
Figura 48 . Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Julho (1971-00).	74
Figura 49. Histograma do índice de conforto bioclimático em Julho 1971-00.	75
Figura 50 . Índice de conforto bioclimático (1971-00) de Julho - Regressão com Krigagem de resíduos .	75
Figura 51. Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Outubro (1971-00).	77
Figura 52 . Histograma do índice de conforto bioclimático em Outubro 1971-00.	78
Figura 53. Índice de conforto bioclimático (1971-00) de Outubro - Regressão com Krigagem de resíduos .	78
Figura 54 . Erros de estimação no mês de Janeiro (1941-70,1961-90 e 1971-00).	81
Figura 55. Histogramas dos erros de estimação no mês de Janeiro (1941-70,1961-90 e 1971-00).	82
Figura 56. Cartas do índice de conforto bioclimático em Janeiro (1961-90) obtida por interpolação manual e por SIG (regressão com krigagem de resíduos).	87
Figura 57. Cartas do índice de conforto bioclimático em Julho (1961-90) obtida por interpolação manual e por SIG.	88
Figura 58 . Índice de conforto bioclimático em Janeiro (1941-70 e 1971-00).	90
Figura 59 . Histogramas do índice de conforto bioclimático em Janeiro (1941-70 e 1971-00).	90
Figura 60. Índice de conforto bioclimático em Abril (1941-70 e 1971-00).	92
Figura 61 .Histogramas do índice de conforto bioclimático em Abril (1941-70 e 1971-00).	92
Figura 62 . Índice de conforto bioclimático em Julho (1941-70 e 1971-00).	94
Figura 63 .Histogramas do índice de conforto bioclimático em Julho (1941-70 e 1971-00).	94
Figura 64 . Índice de conforto bioclimático em Outubro (1941-70 e 1971-00).	96
Figura 65 .Histogramas do índice de conforto bioclimático em Outubro (1941-70 e 1971-00).	96
Figura 66 . Índice de conforto bioclimático em Janeiro para as 4 décadas.	102
Figura 67 . Índice de conforto bioclimático em Abril para as 4 décadas.	103
Figura 68 . Índice de conforto bioclimático em Julho para as 4 décadas.	104

Figura 69 . Índice de conforto bioclimático em Outubro para as 4 décadas.....	105
Figura 70 . Tendência por década do índice de conforto bioclimático nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, no período 1961-2000.	108
Figura 71 . Histogramas dos valores de declive da recta da regressão, por década, do índice de conforto bioclimático (1961-2000).	109
Figura 72 . Tendência anual do índice de conforto bioclimático nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, no período 1961-2000.....	111

1.Introdução

1.1 Enquadramento

“Los climas buenos e malos constytuem la riqueza o la desgracia de las naciones. Saber reconocer los primeiros y señalar la peligrosidad de aquellos otros es la tarea de los bioclimatólogos, no siendo más posible para los estados modernos de ignorar los tesoros latentes constituídos por los buenos climas y los impedimentos graves originados por climas malsanos (Brazol, 1955, p.2).

O estado do tempo e o clima têm uma profunda influência na vida da Terra. Fazem parte da experiência dos seres humanos e são essenciais para a saúde, produção alimentar e bem estar das populações.

A biometeorologia humana tem como objectivo o estudo das sensações térmicas em termos de conforto. A. Ashrae (1992) define conforto térmico como um estado de espírito que reflecte satisfação da pessoa com o ambiente térmico que a envolve.

Gisele Escourrou (1988) considera que o organismo humano reage a toda a variação do ambiente térmico afim de tentar manter a temperatura interna constante e preservar o equilíbrio térmico mesmo nas piores condições de contrastes provocados pelo frio ou pelo calor. As agressões climáticas num indivíduo bem adaptado ao meio físico, representam uma ameaça à sua integridade somática ou física, desenvolvendo no organismo uma reacção de *stress*, fisiológico e/ou psicológico, de alarme e defesa face à agressão.

Sabe-se que um aumento brusco e intenso, quer do frio, quer do calor, provoca um aumento da mortalidade. Assim, fortes variações de temperatura, pressão e humidade, variações essas que determinam a agressividade climática, provocam no ser humano, desequilíbrios que podem mesmo em casos extremos, ser fatais.

Segundo estimativas do Instituto Drº Ricardo Jorge, a onda de calor que atingiu Portugal no Verão de 2003, originou até 12-08-2003, cerca de 1316 óbitos, afectando, sobretudo mas não exclusivamente, os mais idosos¹.

Com o conhecimento dos conceitos básicos de clima e conforto, percebe-se a importância da bioclimatologia aplicada a diversas áreas como a dos recursos naturais, ordenamento do território e urbanismo. Se observarmos um mapamundi, facilmente constatamos que a população humana evita as zonas de calor e frio extremo, e distribui-se preferencialmente nas zonas onde o clima é mais favorável.

“Existen lugares terribles como Werkoiansnk (Sibéria Oriental), considerado como polo mundial del frío, con temperaturas mínimas que llegan a -70°C, y otros de calor excesivo como Jacobabad (India) y Wadi-Haifa (Egipto) con máximas de +53°C, o aun de +57°C em el Vale de la Muerte (California)” (Brazol, 1949, p. 17).

Através do índice de conforto bioclimático, o comportamento humano perante o ambiente térmico é quantificado, de acordo com o modelo teórico em estudo, pelo que a relação causa efeito é expressa com a utilização de valores numéricos representativos do fenómeno. Contudo e segundo Brazol (1949) não existe unanimidade de critério em relação aos factores climáticos fundamentais para a descrição de clima. Assim, são considerados os dois parâmetros, a temperatura do ar (calor sensível) e a humidade do ar (calor latente).

Brazol em 1955, publicou um trabalho intitulado “*Escala Bioclimática Universal*”, onde apresentou os pressupostos teóricos para os climas de todo o mundo, para servir de instrumento de trabalho para todos os que utilizam a bioclimatologia aplicada.

A bioclimatologia tem, por natureza, uma dimensão espacial, suportando-se na monitorização do clima em diversos pontos no espaço. A necessidade de visualizar e processar esta informação espacial tem sido assegurada pelos Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

¹ http://www.onsa.pt/conteu/fontes/proj_icaros.html.

Existem diversas definições de Sistemas de Informação Geográfica. No entanto, após consulta bibliográfica, foi escolhido um autor, cuja definição parece estar bem enquadrada no contexto desta dissertação.

Burrough, em 1986, define SIG como : *“a powerful set of tools for collecting, storing, retrieve at will, transforming and displaying spatial data from the real world.”*

Os Sistemas de Informação Geográfica, permitem o desenvolvimento de diversas aplicações nas áreas da meteorologia e climatologia. Para além de armazenarem grandes quantidades de dados necessários, são uma boa ferramenta para analisar, processar e modelar conjuntos de dados espaciais.

1.2 Objectivos

Constituem objectivos principais da presente dissertação:

- a) A produção de cartas que caracterizam a distribuição espacial do índice de conforto bioclimático em Portugal continental, em três períodos: 1941-70, 1961-90 e 1971-2000;
- b) A comparação das cartas do índice de conforto bioclimático do período 1961-90, elaboradas através de Sistemas de Informação Geográfica, com as cartas do mesmo período, elaboradas manualmente;
- c) A identificação e caracterização da evolução do índice bioclimático:
 - entre as normais climatológicas 1941-70 e 1971-00;
 - ao longo dos últimos 40 anos (período 1961-2000).

Tendo em conta que os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), representam cada vez mais um papel vital para o desenvolvimento de diversas actividades de planeamento e gestão, designadamente em áreas como o clima, este trabalho pretende divulgar a sua utilização como ferramenta de análise e modelação de conjuntos de dados espaciais.

Jack Dangermond (2001) justifica a utilização dos SIG, da seguinte forma:

“O homem é um ser espacial, navega no espaço e no tempo, por isso o SIG é uma tecnologia que nos permite digitalizar a forma como o mundo está organizado em termos de informação e permite-nos quantitativamente fazer o que a nossa mente faz. A informação geográfica e a ciência geográfica são fundamentais para a existência. Nós tomamos decisões sobre isto como consumidores ou gestores.”

Pretende obter-se mapas climáticos que possam conter uma informação fiável e o mais completa possível de variáveis que possam actuar como factores limitantes de processos biológicos de interesse para as actividades humanas.

Na tabela 1, é apresentada a escala bioclimática universal. O índice de conforto bioclimático é desenvolvido com base no trabalho de Demetrio Brazol (1955).

Tabela 1 . Escala Bioclimática Universal, adaptada de Brazol (1955).

Grau	Sensação Climática	Temperatura do Ar			Entalpia do Ar K.cal/Kg	Classificação Antropo-climática
		Temperatura Seca °C	Temperatura do Termómetro Molhado °C	Temperatura Equivalente °C		
12	Calor letal	–	>35	>119	>31	Climas Hipertérmicos
11	Calor Intolerável	–	32-35	103-119	26-31	
10	Calor Sufocante	–	26-32	76-103	19-26	
9	Calor Desconfortável	–	18,3-26	50-76	12-19	
8	Calor	–	16,6-18,3	45-50	11-12	
7	Calor Agradável (No Verão)	–	14,8-16,6	40-45	10-11	Climas Confortáveis
6	Conforto Ideal (No Outono e Primavera)	–	12,8-14,8	35-40	8,5-10	
5	Conforto agradável (no Inverno)	–	10,8-12,8	30-35	7,5-8,5	
4	Fresco	10-15	8,5-10,8	25-30	6,0-7,5	Climas Hipotérmicos
3	Frio Moderado	5-10	3,5-8,5	15-25	3,5-6,0	
2	Frio	0-5	0,5-3,5	10-15	2,4-3,5	
1	Frio Gacial	<0	<0,5	<10	<2,4	

O trabalho realizado ilustra a aplicação dos SIG em climatologia, e baseia-se na análise da entalpia do ar, calculada com base nos valores da temperatura média e da humidade relativa do ar às 9:00 horas T.U. Posteriormente são cartografados, testados e calibrados, com recurso a várias técnicas de interpolação. Na sua maioria, a avaliação dos diferentes métodos de interpolação é feita por validação cruzada, com o objectivo de saber qual o mais apropriado nas situações estudadas.

Neste estudo, foram aplicados modelos matemáticos, determinísticos e geoestatísticos, que relacionam atributos ambientais, a entalpia específica

do ar , com o objectivo de representar o comportamento de um processo que ocorre no meio ambiente.

Um modelo pode ser entendido como uma representação da realidade com o objectivo de ajudar a compreender, descrever ou prever de uma forma mais simplificada, determinado fenómeno. Num Sistema de Informação Geográfica (SIG), um modelo cartográfico é eminentemente um conjunto de mapas (variáveis), sujeitos a operações de cálculo matemático, por forma a obter um resultado.

As maiores dificuldades no estabelecimento de um modelo cartográfico, prendem-se com a natureza dos dados, em particular a distribuição espacial da rede de estações meteorológicas. A título de exemplo refere-se o baixo número de estações em altitude.

Os mapas representam a variabilidade espacial do conforto bioclimático, em Portugal Continental, indicando as áreas que influenciam as actividades sócio-económicas.

O segundo objectivo da presente dissertação suporta-se nos trabalhos já existentes sobre o índice de conforto bioclimático: mapas do índice de conforto bioclimático no território Continental, no período 1961-90, relativos aos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, publicados em 1993, pela então Direcção Geral do Ambiente (actual Instituto do Ambiente), e preparados no então designado Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica. No âmbito do presente trabalho, essas cartas servem para comparação com as novas cartas do índice de conforto bioclimático, elaboradas em SIG.

Por último, o terceiro objectivo consiste na análise de tendências temporal e espacial dos valores da entalpia. As questões que se colocam são:

1. identificar as alterações da entalpia do ar, no período estudado;
2. caracterizar a alteração (aumento/diminuição);
3. detectar onde ocorreram as alterações.

1.3 Estrutura do Trabalho

A dissertação, encontra-se organizada em sete capítulos, cujo conteúdo será resumido seguidamente.

No primeiro capítulo é introduzido o tema, são definidos os objectivos e é apresentada a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo faz-se uma revisão de literatura tendo em conta uma breve perspectiva histórica da construção dos índices bioclimáticos e são definidos os parâmetros do cálculo do índice de conforto bioclimático.

O terceiro capítulo descreve os métodos utilizados, quer na análise exploratória dos dados, quer na análise de tendência estatística dos dados. São abordados os diferentes métodos de interpolação e descritas as vantagens e desvantagens da utilização dos mesmos, tendo em conta os seus critérios de selecção.

O quarto capítulo refere-se à aplicação a Portugal Continental, e encontra-se subdividido em 4 sub-capítulos:

1. Períodos de dados disponíveis;
2. Análise exploratória dos dados;
3. Mapas de estimação para os períodos:
1941-70, 1961-90, e 1971-2000, nos meses de
Janeiro, Abril, Julho e Outubro;
4. Erros de Estimação;

Os três últimos sub-capítulos, incluem a interpretação e discussão dos resultados.

No quinto capítulo, é feita uma comparação entre as cartas do índice de conforto bioclimático, no período 1961-90, implementadas em SIG e as já existentes elaboradas manualmente pelos técnicos do Instituto de Meteorologia.

O sexto capítulo analisa a evolução temporal e espacial do índice de conforto bioclimático. Na secção 6.1, a análise estatística, tem em conta os valores médios das normais 1941-70 e 1971-00, e estuda a evolução temporal do índice de conforto bioclimático. Na secção 6.2, é feita a análise

de tendência do índice de conforto bioclimático, mas desta vez reporta-se aos valores médios dos últimos 40 anos, no período 1961-2000.

O sexto capítulo inclui uma secção de interpretação e discussão dos resultados, subdividida em conformidade com as séries climáticas.

O sétimo capítulo foca as conclusões e as perspectivas de desenvolvimento futuro do trabalho.

2. Construção de Índices Bioclimáticos e Variáveis

Por definição, a bioclimatologia estuda as relações que existem entre o tempo, o clima e as condições de vida humana. A bioclimatologia é a ciência que estuda a climatologia aplicada aos seres vivos, ou seja, a interação do ambiente, seus factores e elementos climáticos, com as sensações térmicas dos seres vivos.

“Actualmente, a diversidade de trabalhos que caracterizam os índices que tentam avaliar as sensações térmicas em diferentes ambientes climáticos é muito grande, tendo sido desde muito cedo desenvolvidos vários índices climáticos. Estes índices foram utilizados em diversas regiões do globo para delimitarem zonas de conforto. Os mais simples utilizam apenas uma variável, como o conhecido “poder de resfriamento do vento” (Wind Chill) de Siple e Passel; outros combinam duas variáveis como a temperatura e humidade, é o caso do “índice termohigrométrico” de Thom, e outros como o de Hill, combinam mais variáveis como a temperatura o vento e a humidade” (Moreno, s.d).

A temperatura efectiva (TE) é a temperatura de uma massa de ar saturada que pode produzir a mesma sensação de aquecimento ou arrefecimento, produzida pela combinação da temperatura, humidade e movimento do ar. O conceito de TE foi desenvolvido por Hongthen e Yanglou, em 1923, e foi definido tendo por base o vestuário e a insolação (León et al, s.d.)

A partir daí, foi desenvolvida uma fórmula, para obter a TE a partir da relação linear entre as temperaturas do termómetro molhado e seco, e a humidade relativa.

Terjung (1968) produziu mapas para o continente Africano, utilizando índices de temperatura equivalente (corrigida para os impactos de radiação) definindo um índice de comodidade.

Davies (1968) desenvolveu um índice climático onde foram introduzidas a médias da temperatura máxima diária, o número de horas de sol, e o total de precipitação de Junho a Agosto. Um exemplo do índice de Verão de Davies ,

foi desenvolvido para a Grécia, por Andreas Matzarakis, no Instituto Meteorológico da Universidade de Freiburg (Alemanha).

Steadman (1979) cartografou a variação da temperatura aparente nos Estados Unidos da América e em algumas partes do Canadá.

Na Nicarágua foi desenvolvido recentemente o mapa de índice de conforto climático, preparado na direcção de Aplicações de Meteorologia, com o objectivo de potenciar o recurso clima, para apoiar a gestão e o planeamento do desenvolvimento socio-económico do país. Os índices foram obtidos tendo como base o método de índice de comodidade de Terjung, com a informação mensal da temperatura e humidade relativa do ar existente na rede nacional de estações meteorológicas principais.

GANHO (1998, p. 268-269), descreveu o índice de temperatura e humidade criado por D. B. Giles et al que pode ser calculado com base na temperatura do ar e humidade relativa, através da fórmula: $ITH = T - 0.55 \cdot (1 - 0.01 \cdot HR) \cdot (T - 14.5)$.

Em Portugal, foi publicado o trabalho “Domínios Bioclimáticos em Portugal, definidos por comparação dos índices de Gaussen et d’Emberger”, da autoria de Maria João Alcoforado et al (1993).

Com o presente trabalho, pretende obter-se um zonamento por classes da escala de sensação bioclimática de Demetrio Brazol/Gregorczuk (1955), que expresse a sensação bioclimática de conforto do homem, como apresentado na tabela 2.

Tabela 2. Escala de sensação bioclimática de Brazol/ Gregorczuk.

Sensação Bioclimática Entalpia do Ar (Kcal. Kg ⁻¹)	Escala de Brazol/Gregorczuk
12.0-19.0	Muito Quente
11.0-12.0	Quente
10.0-11.0	Confortável (Quente)
8.5-10.0	Confortável
7.5-8.5	Confortavel (Fresco)
6.0-7.5	Fresco
3.5-6.0	Frio Moderado
2.5-3.5	Frio

2.1 Definição dos Parâmetros Climáticos

Como já foi referido, os parâmetros climáticos mais utilizados para definir o grau de conforto ambiental para pessoas e animais são a temperatura do ar e humidade atmosférica. À semelhança do que já tinha sido desenvolvido no Instituto de Meteorologia, em 1983, o índice de conforto bioclimático foi calculado de acordo com as leis da termodinâmica, consistindo basicamente no cálculo da entalpia específica do ar.

Demetrio Brazol, em 1949, define entalpia (H) como a soma da sua energia interna (U) e potencial (PV) em relação a um determinado nível ou zero de referência.

$$H=U+PV$$

O nível de referência adoptado é a temperatura 0°C.

“Aunque la entalpía del aire, también denominada potencial térmico, determina la cantidad del calor total contenido en el aire, y se mide habitualmente en calorías, por unidad de volumen (m³), por unidad de masa (Kg), para muchos fines prácticos conviene poder expresarla también de algún otro modo, siendo extensamente usadas en meteorología a temperatura húmeda del aire y la temperatura equivalente”
(Brazol, 1949, p.31).

A entalpia específica do ar húmido (Kcal.Kg⁻¹) foi calculada em função da temperatura do ar (°C), da humidade relativa do ar (%) e da pressão atmosférica do ar (hPa). Considerou-se a pressão constante, P=1000 (hPa).

$$1) Q = q \cdot L + C_{p_a} \cdot T + q \cdot C_{p_v} \cdot T$$

em que:

Q - entalpia específica do ar (Kcal.Kg⁻¹)

q – humidade específica do ar, definido em (2), (gramas de vapor de água por Kilograma de ar).

T- Temperatura média do ar (°C)

$C_{p_a} = 1004.67 \text{ J/Kg.K}$, o calor específico do ar a pressão constante;

$L = 2.5 \cdot 10^6 \text{ J/Kg}$, ou calor latente de evaporação da água;

$C_{p_v} = 1850 \text{ J/Kg.K}$, ou calor específico do vapor de água a pressão constante; calor específico de uma substância é a quantidade de calor necessária para fazer um grama dessa substância elevar a sua temperatura 1 grau Celsius.

2) Humidade específica do ar (q): é a massa de vapor de água contida na unidade de massa de ar (ar seco+vapor de água), e é dada pela expressão:

$$q = 0.622 \cdot e / (P - 0.378 \cdot e)$$

em que:

e - tensão actual de vapor, (hPa)

P – Pressão atmosférica (hPa)

3) Humidade relativa do ar (HR): definida como a relação entre a quantidade de vapor de água presente no ar e a que prevaleceria em condições saturadas, à mesma temperatura:

$$HR = e / e_s$$

4) Tensão actual de vapor (em hPa), definida por:

$$e_s = 6.1078 \cdot 10^{[(7.5t) / (237.3 + t)]}$$

em que:

td – a temperatura do ponto de orvalho em °C:

5) Ar atmosférico saturado, em que e_s é a pressão de saturação do vapor de água, em hPa, definido por:

$$e_s = 6.1078 \cdot 10^{[(7.5t) / (237.3 + t)]}$$

em que:

t – a temperatura do ar em °C:

3. Metodologia

3.1 Análise Exploratória dos Dados (AED)

A análise exploratória de dados, tem como objectivo identificar propriedades espaciais para detectar padrões, formular hipóteses a partir da localização dos dados e avaliar aspectos de modelação espacial (e.g. grau de ajustamento de modelos). A análise exploratória de dados é baseada quer em métodos gráficos e visuais quer em técnicas numéricas e/ou estatísticas.

A análise exploratória de dados não é mais do que o resumo, organização e interpretação dos dados ². Segundo Johnston (2001), a análise exploratória de dados permite detectar outliers, tendências, examinar a autocorrelação espacial, e perceber a covariância entre os diferentes conjuntos de dados.

A AED assenta num conjunto de medidas estatísticas, de que se destacam as medidas de localização e dispersão. As medidas de síntese, ou de tendência central indicam um valor central do conjunto de dados. As medidas de dispersão, descrevem a variação dos dados do conjunto.

O valor da média pode ser visto como o ponto central de cada conjunto de dados, ou seja o ponto de equilíbrio do conjunto. Esta pode ser distorcida por valores discrepantes.

O coeficiente de enviezamento é uma medida de simetria da distribuição. Para distribuições simétricas, o coeficiente é zero. Se a distribuição tiver uma cauda direita com grandes valores, é positivamente enviezada, e se a cauda tiver à sua esquerda pequenos valores, é negativamente enviezada. A

² A análise exploratória de dados está disponível na extensão *geostatistical analyst* do software ARCGIS 8.2, permitindo visualizar e analisar os dados através de métodos estatísticos, com o objectivo principal de conseguir explicar o fenómeno em causa, neste caso o índice de conforto bioclimático, através do parâmetro estudado, a entalpia do ar.

média é maior do que a mediana, nas curvas com distribuição positiva, e vice versa para as curvas com distribuição negativa, (Jonhston, 2001).

A Kurtosis tem por base o tamanho das caudas de distribuição e dá uma medida de como a distribuição produz *outliers*. A Kurtosis de uma distribuição normal é 3 (Jonhston ,2001).

3.2 Análise de Tendência Temporal

Neste trabalho, a análise de tendência temporal tem por objectivo a identificação e caracterização da evolução do índice bioclimático no período de dados disponível.

Numa primeira fase, é feita a análise das médias dos dois períodos climatológicosn 1941-70 e 1971-00, com o objectivo de identificar a natureza do fenómeno representado das observações. O objectivo é usar a análise estatística para identificar tendências nos valores normais da entalpia, temperatura e humidade do ar. Interessa averiguar se os valores das normais sofreram ou não alterações significativas.

O teste escolhido foi o ***t-student***. É um teste simples, fácil de utilizar, e adaptável numa enorme variedade de situações.

O teste ***t-student*** é utilizado para comparar médias. Este teste aplica-se quando não conhecemos a variância da população ou quando queremos comparar duas amostras. A distribuição t é usada quando o número de observações é pequeno. O número 30 é frequentemente usado como limitador entre uma amostra pequena e grande (Mendenhal, 1992).

As duas amostras são independentes , pois têm origens diferentes e contêm diferentes conjuntos de dados. Os dados da normal 1941-70 não estão relacionados com os dados da normal climatológica 1971-00, e vice-versa.

São condições necessárias para a aplicação do teste t-student:

- que as duas populações tenham uma distribuição normal;
- que o número de casos das duas populações seja igual, neste caso 31 estações meteorológicas comuns.

Quando se aplica um teste estatístico, o que se testa, fundamentalmente, é a hipótese nula. Esta, geralmente, é a antítese lógica da hipótese que se

pretende testar. Deste modo e no caso presente, a hipótese de pesquisa é que há alteração dos parâmetros climáticos entre 1941-70 e 1971-00. A hipótese nula estabelece que qualquer diferença que se encontre entre as médias das duas amostras não deverá ser significativamente diferente de zero.

Os testes terão hipóteses não direccionadas, visto poderem existir diferenças em ambas as direcções, isto é, ter ocorrido aumento ou diminuição do parâmetro em causa.

A análise de variância permite a especificação e validação de testes de hipóteses. Para cada mês estudado dos períodos climatológicos 1941-70 e 1971-00, serão realizados testes relativos às médias da entalpia do ar, temperatura média do ar e humidade relativa do ar às 9:00 T.U., explicitadas da forma que a seguir se apresenta:

H_0 : Não há alterações das médias do índice de conforto bioclimático, da temperatura média do ar e da humidade relativa do ar às 9:00 T.U.

H_1 : Verifica-se aumento ou diminuição do parâmetro climático estudado (temperatura média do ar, humidade relativa às 9:00 T.U), e da entalpia do ar.

A decisão de aceitação da hipótese nula é feita com um nível de confiança de 95% a que corresponde um nível de significância de 5%.

Quando a probabilidade de aceitar H_0 for superior ao nível de significância considerado ($p > 0,05$), aceita-se H_0 . Caso contrário ($p < 0,05$), rejeita-se H_0 e aceita-se a hipótese H_1 .

Ao tomar uma decisão a favor ou contra uma hipótese existem dois tipos de erros que podemos cometer. Podemos rejeitar a hipótese nula quando de facto ela é verdadeira (erro tipo I) ou podemos falhar em rejeitar H_0 quando de facto ela é falsa (erro tipo II). Frequentemente denotamos as probabilidades destes dois tipos de erro como α e β respectivamente (Mendenhal, 1992).

Existe um balanço entre esses dois tipos de erros, pois ao tentar minimizar-se α , aumenta-se β . Isto é, não é possível minimizar estas duas probabilidades simultaneamente e na prática é costume fixar um valor (pequeno) para α . Na tabela 3, estão descritas as decisões que podemos tomar e os tipos de erro associados.

Tabela 3 . Tipos de decisão e tipos de erro associados a testes de hipóteses.

	Decisão	
Verdade	Aceitar H_0	Rejeitar H_0
H_0 verdadeira	Decisão correta (probabilidade $1-\alpha$)	Erro Tipo I (probabilidade α)
H_0 falsa	Erro Tipo II (probabilidade β)	Decisão correta (probabilidade $1-\beta$)

A análise de tendência temporal permite concluir sobre a existência ou não de alterações mensais significativas dos índice de conforto bioclimático e dos parâmetros temperatura média do ar e humidade relativa do ar às 9:00 T.U.

Para além da análise de tendência temporal, com base nas médias dos dois períodos climatológicos, foi analisada a tendência da serie temporal 1961-2000, através de regressão linear. A série de valores dos quarenta anos, relacionada através do tempo, foi reduzida à seguinte equação :

$$Y = \beta_0 + \beta_1(T)$$

onde

Y - variável climática, como a entalpia específica do ar;

T - tempo, em anos;

β_0 e β_1 = estimação dos coeficientes de declive e intercepção.

O declive, B_1 , indica a taxa média de alteração da entalpia do ar em cada ano, durante o período 1961-2000. Se o declive é significativamente diferente de zero, a tendência da variável entalpia é igual à magnitude do declive e a direcção da tendência é definida pelo sinal do declive: aumento se o sinal é positivo, diminuição se o sinal é negativo. Se o declive não é significativamente diferente de zero, não existe tendência na variável entalpia.

Este método é aplicado a 38 estações meteorológicas, nos 4 meses de estudo (Janeiro, Abril, Julho e Outubro).

São apontadas como desvantagens a não detecção do método de tendências que não sejam lineares mas monotonicas (geralmente em uma direcção). O teste de Mann-Kendall poderia ter sido aplicado, contudo apenas seria indicada a direcção, e não a magnitude das tendências significativas.

3.3 Análise de Tendência de Dados Espacial

A variabilidade espacial do índice de conforto bioclimático foi estudada para as normais climatológicas 1941-70 e 1971-00. Foram interpoladas as diferenças entre os valores médios do índice de conforto bioclimático, da temperatura média do ar e da humidade relativa do ar às 9:00 T.U., em 31 estações climatológicas coincidentes, registadas nos períodos 1971-00 e 1941-70 (ver Anexo H).

3.4 Interpolação

Tendo por objectivo a produção de mapas que caracterizam a distribuição espacial do índice de conforto bioclimático, através do zonamento de escala de sensação bioclimática (método de Brazol/Gregorczuk), a interpolação incidirá sobre a variável entalpia, cujo cálculo foi apresentado anteriormente.

Por definição, interpolação é um procedimento de estimação do valor de um atributo em locais não amostrados, a partir de pontos amostrados na mesma área ou região. A interpolação espacial converte dados de observações pontuais em campos contínuos, produzindo padrões espaciais que podem ser comparados com outras entidades espaciais contínuas. O raciocínio que está na base da interpolação é que, em média, valores de atributos tendem a ser similares em locais mais próximos do que em locais mais afastados (Tobler's Laws Geography) (GASA, s.d.).

Através da validação cruzada podemos diagnosticar a performance do modelo. A validação exige a selecção de um conjunto de pontos que não participam na interpolação. Por curiosidade, na extensão *Geostatistical Analyst* a validação cruzada, para todos os pontos, omite sequencialmente um, prevê o seu valor com os restantes dados, e então compara o valor observado com o valor previsto (Johnston et al, 2001).

Será então escolhido o modelo de interpolação, cujos resultados se ajustam à realidade dos dados, e que se distinguirá pela melhor performance.

O cálculo deste parâmetro já foi referido no segundo capítulo.

Com base na análise exploratória de dados, parte-se para a elaboração das cartas de previsão, através da aplicação de diferentes métodos de interpolação, nomeadamente técnicas uni-variadas, destacando-se:

- Inverso da Distância Pesada- IDW;
- Função de Base Radial;
- Polinomial Local;
- *Kriging* normal e universal;
- Regressão com Krigagem dos resíduos.

À excepção do último método, os resultados obtidos pelos diferentes métodos de interpolação são então analisados e comparados, com o objectivo de escolher o método de interpolação mais adequado.

Esta selecção será feita através da confrontação de diversas medidas de avaliação: coeficiente de correlação de Pearson entre valores observados e estimados, erro médio, erro absoluto médio, erro quadrático médio, fornecidas através do software Geostatistical Analyst, ou calculadas em folhas de cálculo excell.

3.3 Métodos de Interpolação

3.3.1 Métodos Determinísticos

O método do inverso da distância pesada, IDW, aplica a lei da geografia - o que está mais perto é mais parecido do que o que está mais distante. Para prever um valor para qualquer local sem dados, o IDW utiliza os dados medidos na vizinhança do local a prever. Os valores mais próximos do local de previsão têm maior influência do que os mais distantes. O IDW assume que cada ponto de observação tem uma influência local que diminui com a distância. À medida que a distância tende para zero, o peso relativo aproxima-se da unidade. Tal significa que, se um ponto de medição está mais perto do local da previsão, receberá quase todo o peso.

Os métodos *inverse distance weighted* e função de base radial, são interpoladores exactos(Johnston, 2001). A influência de um ponto de input num valor interpolado é isotrópica, quer isto dizer que, a dependência espacial (autocorrelação) é modificada somente com a distância entre dois locais (a direcção não é importante). Os melhores valores do IDW são obtidos quando a amostra é suficientemente densa, tendo em conta a variação local que se tentará simular. Se a amostra de pontos for muito pouco densa, os resultados podem não ser suficientemente representativos da superfície desejada.

A interpolação polinomial global ajusta uma superfície aos pontos onde existem observações. Ao contrário do IDW, não utiliza informação local, mas global, ajustando uma regressão às coordenadas x e y . Este método é o único que não utiliza uma pesquisa por vizinhança. Quando esse tipo de pesquisa é utilizado, então estamos perante o método de interpolação polinomial local.

A interpolação polinomial local (Fig. 1) ajusta os pontos de input observados, a uma superfície que é definida por uma função matemática (polinomial). Ao contrário do método de interpolação polinomial global, este tipo de interpolação cria uma superfície a partir de muitas fórmulas diferentes, em cada uma das quais é otimizada a vizinhança. A superfície global polinomial muda gradualmente e capta as mudanças de escala no padrão dos dados.

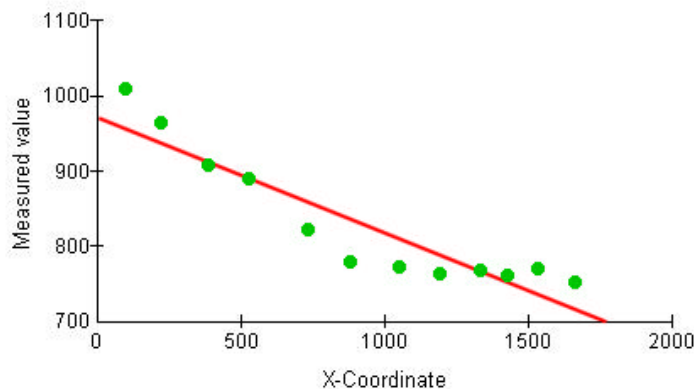


Figura 1. Interpolação polinomial local (ESRI,2001).

Os métodos de função de base radial (RBF), são técnicas de interpolação exacta, isto é, a superfície é obrigada a passar em cada ponto de observação. Equivalem a uma régua flexível que se adapta aos pontos de input. Existem cinco tipos de funções diferentes: *thin-plate spline*, *spline with tension*, *spline* regularizado, função multiquadrática, e *spline* multiquadrático

invertido. Cada um, tem uma forma diferente e resulta numa superfície de interpolação diferente.

Refira-se que o IDW nunca estimará valores acima ou abaixo do máximo ou do mínimo observado, respectivamente, ao contrário do RBF.

O RBF, dá melhores resultados em superfícies com gradientes menores. Os cálculos são feitos rapidamente, e as superfícies de output são menos rugosas.

3.3.2 Métodos Geo-Estatísticos

As técnicas geo-estatísticas geram superfícies que incorporam as propriedades espaciais dos dados observados. Estas técnicas produzem não só superfícies de previsão mas também superfícies de erros ou superfícies de incerteza, dando por isso indicação da performance espacial do modelo. Muitos métodos estão associados com geoestatística, mas todos pertencem a uma família designada por kriging.

Krigagem consiste num procedimento que gera uma superfície de estimação a partir de um conjunto de dados dispersos com valores de Z . O Kriging assume a existência de correlação espacial entre os pontos de dados. Baseia-se na teoria da variável regionalizada que assume que a variação espacial do fenómeno representada pelos valores da variável Z é estatisticamente homogénea através da superfície, isto é, o mesmo padrão de variação pode ser observado em todos os locais da superfície.

A krigagem é entendida como uma série de técnicas de análise de regressão que procura minimizar a variância estimada a partir de um modelo prévio, que tem em conta a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço. As formas mais usuais são conhecidas como krigagem simples, krigagem ordinária, krigagem universal. Krigagens não lineares são regressões lineares de alguma transformação não linear apropriada aos dados originais e inclui krigagem lognormal, krigagem multigaussiana, krigagem indicativa, krigagem probabilística, e krigagem disjuntiva.

A diferença entre a Krigagem e o IDW, é que no IDW todos os valores são contribuintes da previsão e na Krigagem apenas os que são inferiores ao *range*. Contudo, os pesos são baseados não só na distância medida entre os pontos observados e os pontos a estimar, como no tipo de distribuição espacial existentes entre os pontos observados. As ponderações dos diversos pontos, exige que a autocorrelação espacial seja quantificada.

No caso do índice de conforto bioclimático, existe uma correlação entre a entalpia e a altitude, pelo que as cartas de entalpia com krigagem de resíduos foram elaboradas com a co-variável altitude.

Neste caso a regressão linear é previamente ajustada à variável espacial $Z(\mathbf{s})$ e um conjunto de variáveis independentes $x_i(\mathbf{s})$, os resíduos do modelo de regressão (\mathbf{s}) são calculados para cada estação e interpolados com o método de interpolação kriging normal.

Na interpolação residual, a componente determinística é removida das observações antes do modelo espacial ser aplicado. As variáveis utilizadas na remoção da tendência são adicionadas ao campo interpolado. Tal, implica que a componente determinista tem de ser representada como um campo de grid, da mesma forma que o campo interpolado, (Tveito,1999).

Como já foi referido anteriormente, a análise estatística confirmou que a altimetria desempenha um papel importante na distribuição da entalpia do ar. Na sua maioria, os coeficientes de determinação entre a entalpia do ar e a altitude das estações são bastante elevados, por vezes excedendo os 0.80 . Depois de aplicada a regressão linear, os resíduos do modelo de regressão foram calculados para cada estação, e interpolados com o método de krigagem normal. No capítulo 4, são apresentados os resultados desta análise.

O método de interpolação por Krigagem assenta numa sequência de procedimentos que permitem concluir sobre o tipo de modelo de dependência espacial da variável, e que inclui:

1. **Calculo do semivariograma empírico** - técnica para explorar a autocorrelação espacial. Os pares mais próximos têm variabilidade mais baixa, relativamente aos pares que estão mais distantes.
2. **Ajustamento do modelo** - através da definição de uma linha que melhor se ajuste aos pontos do semivariograma empírico. Esta linha, definida com base nos 3 parâmetros do semivariograma, traduz o modelo que quantifica a autocorrelação espacial dos dados. O patamar (sill) é a distância do *range* em que o modelo do semivariograma atinge o seu valor limite. O efeito pepita (nugget) representa a medida de erro e/ou a variação de microescala. O eixo maior da direcção de co-variância, ou *range*, é o parâmetro de covariância ou do modelo do semivariograma, que representa a distância para além da qual existe pouca ou nenhuma autocorrelação entre as variáveis .
3. **Criação de Matrizes** - As equações de kriging ordinário estão contidas em matrizes e vectores que dependem da autocorrelação espacial entre a localização dos valores observados e a localização dos valores esperados. Os valores de autocorrelação derivam do modelo do semivariograma. As matrizes e os vectores determinam a ponderação de Krigagem que é atribuída a cada valor observado.
4. **Previsão** - Através das ponderações para os valores observados, calcula-se a previsão para os locais de valor desconhecido.

3.3.3 Critérios de Selecção do Método de Interpolação

Uma questão importante merece agora ser colocada: Que método escolher? De facto não existe um método standard que possa ser considerado à partida o melhor para um dado conjunto de dados, num dado período temporal. A solução está pois em testar os vários métodos e avaliar de várias formas qual o que melhor se adapta ao conjunto de dados do trabalho. Deste modo, para além de uma análise visual dos mapas de estimação obtidos, a qualidade da interpolação pode ser avaliada através dos erros associados à estimação. Esta é mais correcta quando os erros apresentarem os seguintes valores (Johnston et al, 2001):

- O Erro Médio - EM, o mais próximo possível de 0;
- O Erro Quadrático Médio - EQM, o mais baixo possível;

No caso dos métodos de Krigagem a estimação pode ainda ser avaliada por outros erros:

- Média dos Erros Relativos - MER, o mais baixa possível;
- O Erro Relativo Quadrático Médio - ERQM, o mais próximo possível de 1.

Além disto a qualidade da variabilidade da estimação pode ser avaliada pela relação entre os tipos de erros, como se mostra na tabela 4:

Tabela 4. Variabilidade de estimação.

Erro	Variabilidade da Estimação
EQM \approx MER	bem captada
EQM $>$ MER	subestimada
EQM $<$ MER	sobrestimada
ERQM \approx 1	bem captada
ERQM $>$ 1	subestimada
ERQM $<$ 1	sobrestimada

Analisados os erros podemos ainda recorrer ao coeficiente de correlação entre valores reais e estimados que deverá ser o mais próximo possível de 1.

Interessa que os erros apresentem as características descritas, pois tal significa que a diferença entre valores reais e estimados obtida por validação cruzada é a mais baixa possível. A validação cruzada consiste em sucessivamente remover as amostras, uma de cada vez, e estimar o valor nesse local a partir das amostras restantes. Para todos os pontos obtêm-se então diferenças entre valores reais e estimados, utilizadas depois para calcular os erros médios. Para além da validação cruzada, pode-se simplesmente dividir a série de dados em duas, utilizando uma para estimação e outra para validação. Esta técnica é mais rigorosa que a validação cruzada, tendo no entanto o inconveniente de reduzir o número de amostras disponíveis para estimação, quando em climatologia este número, é, à partida reduzido. Por isto mesmo, a validação cruzada é em geral a escolhida.

Johnston (2001), refere que cada método de interpolação tem vantagens e desvantagens (Tabela 5):

Tabela 5 . Métodos de interpolação e suas características, (adaptada de ESRI, 2003).

Método	Tipo	Interpolador Exacto	Flexibilidade	Vantagens	Desvantagens	Assumpções
IDW	Determinístico	Sim	Não é muito flexível; Poucos parâmetros de decisão	Poucas decisões	Não faz previsão de erros; Bul's-eyes à volta do local de medição	Nenhuma
Polinomial Global	Determinístico	Não	Não é muito flexível; Poucos parâmetros de decisão	Poucas decisões	Não faz previsão de erros; Pode ser muito suave; Os pontos mais distantes podem ter uma grande influência	Nenhuma
Polinomial Local	Determinístico	Não	Mais flexível; Mais parâmetros de decisão	Flexível	Não faz previsão de erros; Pode ser difícil escolher uma boa vizinhança	Nenhuma
Função de Base Radial	Determinístico	Sim	Flexível; Mais parâmetros de decisão	Flexível	Não faz previsão de erros; Pode ser demasiado automático	Nenhuma
Kriging	Estocástico	Sim- Sem medida de erro Não com medida de erro	Muito flexível: Permite acesso à autocorrelação espacial; Pode obter erros de previsão standard; Muitos parâmetros de decisão	Flexível com ferramentas de modelação Previsão de erros standard	Muitas decisões nas transformações, tendências, modelos, parâmetros, e vizinhança	Estacionaridade; Alguns métodos requerem distribuição normal dos dados
Co-Kriging	Estocástico	Sim- Sem medida de erro Não com medida de erro	Muito flexível: Permite utilizar múltiplas bases dados; Permite acesso à autocorrelação espacial; Muitos parâmetros de decisão;	Flexível com ferramentas de modelação Previsão de erros standard	Muitas decisões nas transformações, tendências, modelos, parâmetros, e vizinhança	Estacionaridade; Alguns métodos requerem distribuição normal dos dados

3.4 Implementação

O conjunto de tarefas associadas à cartografia é implementada em software Arc View 8.2 e 3.2, com as extensões Geostatistical e Spatial Analyst. A análise estatística é feita através do programa SPSS 12.0. Na figura 2, apresenta-se o fluxograma da estrutura do trabalho desenvolvido.

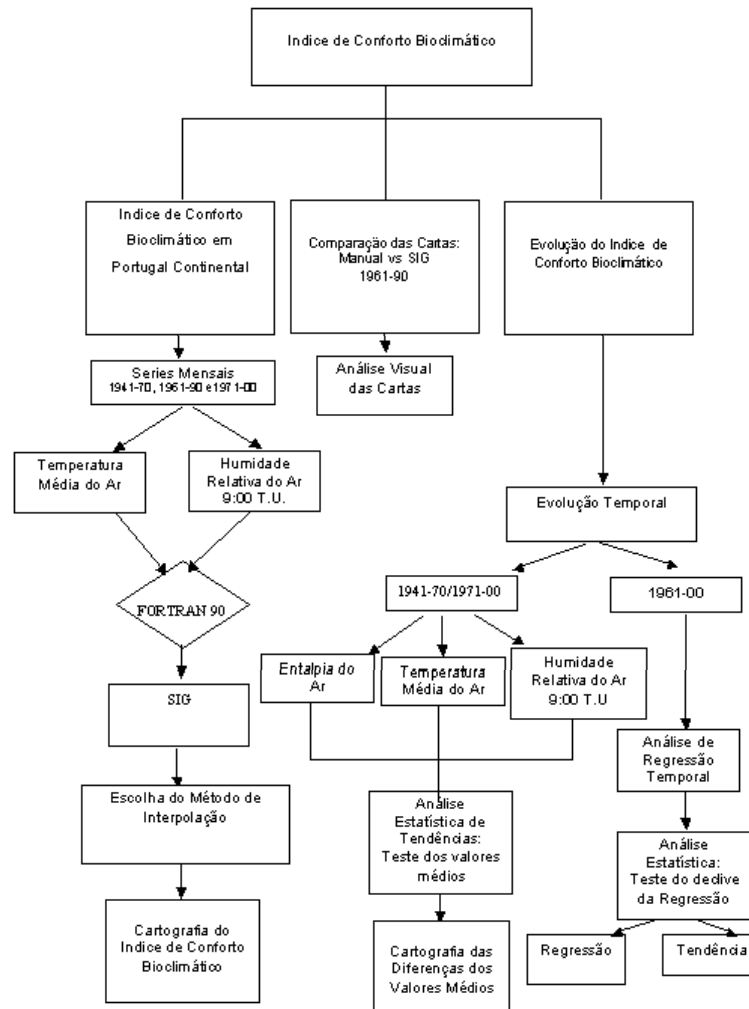


Figura 2. Estrutura do Trabalho.

4. Aplicação a Portugal Continental

4.1. Períodos de Dados Disponíveis

Neste trabalho os dados dizem respeito apenas aos meses mais representativos das estações do ano: Janeiro, Abril, Julho e Outubro, e abrangem todo o território continental.

Os dados mensais disponíveis para o cálculo do índice de conforto bioclimático referem-se às séries climatológicas da temperatura média e humidade relativa do ar às 9:00 T.U. referentes ao período 1961-2000. Foram também utilizados dados já publicados das normais climatológicas 1941-70 e 1961-90.

O primeiro passo deste trabalho consistiu em assegurar e compreender a metodologia do índice de conforto bioclimático original. Este, foi reproduzido à semelhança do anteriormente calculado no Instituto de Meteorologia, por forma ser possível uma comparação.

Uma vez conhecidos os dados de entrada, o cálculo do índice de conforto bioclimático mensal, foi obtido por meio de uma aplicação informática desenvolvida em linguagem FORTRAN 90, para posteriormente ser modelada.

Os dados de entalpia do ar mensais são calculados para as estações meteorológicas (ver anexo E), que dizem respeito aos seguintes períodos climatológicos:

- 1941-70 - 49 estações meteorológicas de Portugal continental (Fig.3) ;
- 1961-90 - 86 estações meteorológicas de Portugal continental (Fig. 4);
- 1971-2000 – 57 estações meteorológicas em Portugal continental (Fig.5);

Note-se que em muitas estações meteorológicas do período 1941-70, os dados publicados que dizem respeito ao parâmetro humidade relativa do ar, eram observados em geral às 6:00 T.U., pelo que o número de estações utilizado neste período é mais reduzido.

Tendo em conta a análise estatística, nomeadamente os testes de hipóteses, foram seleccionadas apenas as estações coincidentes entre os períodos:

- 1941-70 e 1971-00, 31 estações meteorológicas coincidentes.

Na análise espacial, são utilizadas as mesmas 31 estações meteorológicas coincidentes, entre o período 1941-70 e 1971-00. No período 1961-2000, são utilizadas na totalidade 38 estações meteorológicas.

As séries de dados apresentam falhas em alguns meses. Assim, com o objectivo de reduzir o ruído da variável de input recolhida ao longo do tempo, são estimados os valores em falta, recorrendo ao método das médias móveis, tendo em conta os 5 anos precedentes e os 5 anos consequentes.

Finalmente, importa referir a dificuldade em obter o conjunto de dados acabado de apresentar, dada a sua disponibilidade muito limitada.

A área de estudo inclui o território de Portugal Continental, localizado a SW da Europa. Este ocupa uma faixa estreita com cerca de 89 000 Km². Sendo a sua forma quase idêntica à de um rectângulo, os seus valores máximos do comprimento e da largura são cerca de 560 e 220 km, respectivamente. Portugal localiza-se aproximadamente entre as latitudes de 37° e 42° Norte, e os paralelos 6 e 9^a 30'W.

A rede de observação é essencial na climatologia e por inerência nos SIG, a esta aplicados. Os registos das estações são utilizados para obter os mapas de estimação dos parâmetros climáticos, pelo que a densidade e qualidade da rede é muito importante.

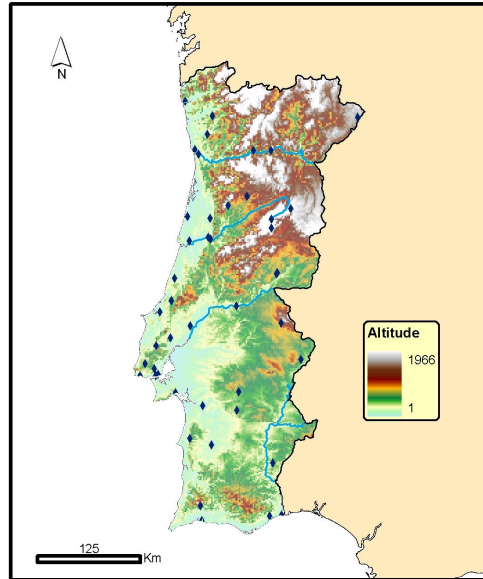


Figura 3. Rede de estações climatológicas 1941-70.

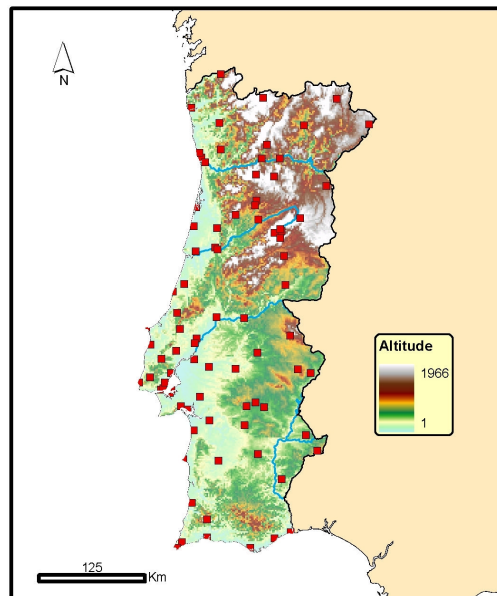


Figura 4. Rede de estações climatológicas 1961-90.

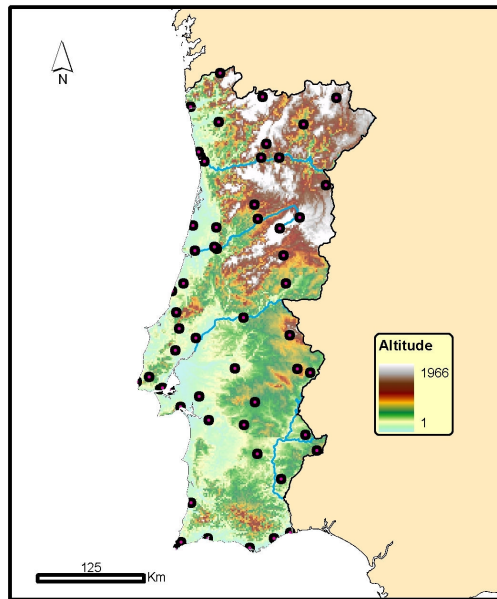


Figura 5. Rede de estações climatológicas 1971-00.

As aplicações foram feitas para a escala de Portugal Continental, a uma resolução de 1000 metros. O sistema de projecção é expresso em graus decimais de latitude e longitude referenciados ao elipsóide global WGS84. As unidades verticais são expressas em metros acima do nível médio das águas do mar. A Carta dos Países da Europa, é a da ESRI (2000) e o seu formato é vectorial.

4.2. Análise Exploratória dos Dados

Foi feita uma análise exploratória dos dados para cada período cartografado 1941-70, 1961-90 e 1971-2000, nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro.

Apresentam-se seguidamente os histogramas e algumas medidas estatísticas da dispersão e forma da distribuição das séries de valores do índice de conforto bioclimático.

1941-70

A entalpia do ar no período climatológico 1941-70 encontra-se estatisticamente descrita na tabela 6.

Tabela 6 . Medidas estatísticas do período 1941-70.

Período 1941-70				
	Janeiro	Abril	Julho	Outubro
Média	5.9	7.6	11.6	9.6
Mediana	6.1	7.9	11.8	9.8
Máximo	7.2	9.0	13.6	11.3
Mínimo	2.4	3.8	7.7	4.8
Desvio Padrão	1.1	1.1	1.2	1.3
Classe de >Frequência	frio e fresco	confortável fresco	quente e muito quente	confortável

Nas figuras 6,7,8 e 9 são apresentados os histogramas dos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente.

Todos os meses nos indicam que estamos perante uma distribuição assimétrica negativa, comprovada também pelo coeficiente de skewness.

Sabe-se que quanto mais se aproximar de distribuição normal melhores serão os resultados da estimação, e mais facilmente se podem considerar os erros médios relativos, no caso da krigagem, como intervalos de confiança. A dispersão dos dados mais elevada é a do mês de Outubro.

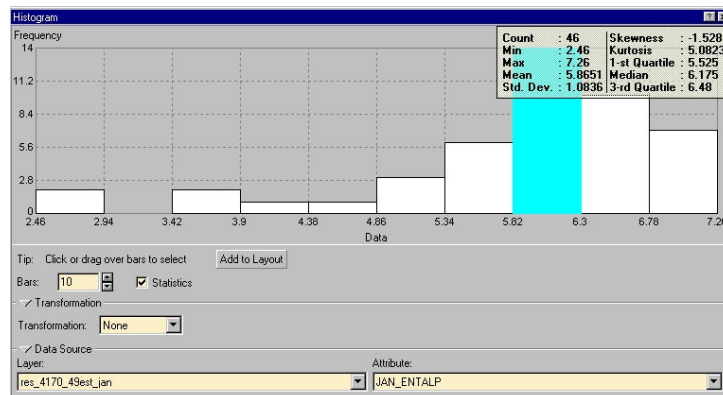


Figura 6. Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg^{-1}) em Janeiro 1941-70.

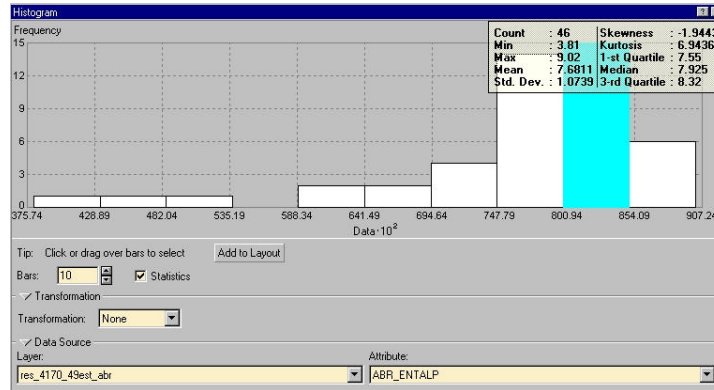


Figura 7. Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg⁻¹) em Abril 1941-70.

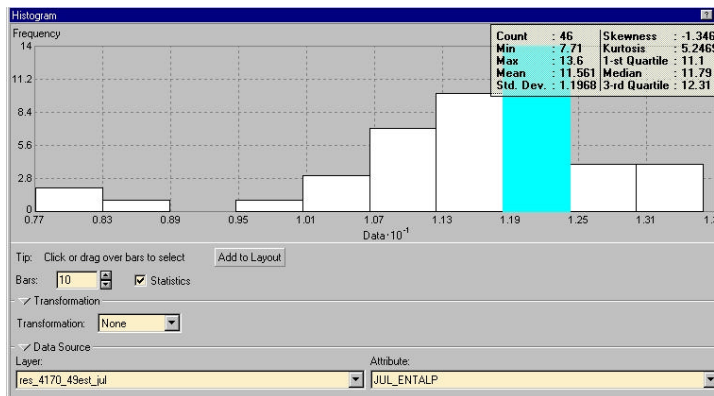


Figura 8. Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg⁻¹) em Julho 1941-70.

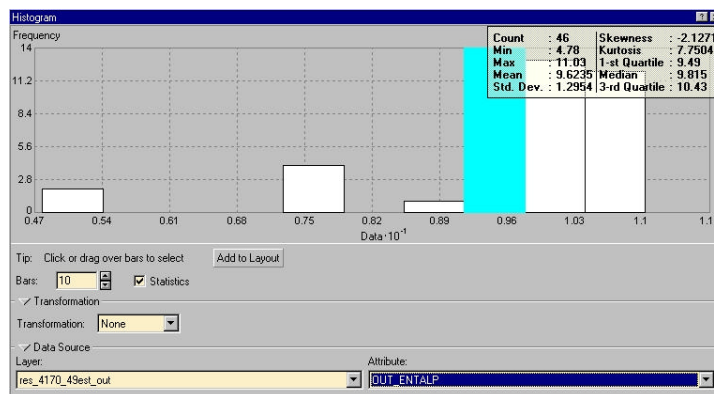


Figura 9. Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg⁻¹) em Outubro 1941-70.

Na normal climatológica 1941-70, o mês de Outubro destaca-se com um coeficiente de skewness superior (-2.12). O mês de Outubro é o que apresenta o desvio padrão mais elevado de todos os meses, 1.3, também a Kurtosis é muito elevada, 7.7. Pelo contrário, o mês de Julho destaca-se com um valor de skewness mais baixo -1.34. Os meses de Abril e Janeiro são os que apresentam desvios padrão inferiores, 1.07 e 1.08, respectivamente. Julho apresenta a maior distância inter-quartil (1.21).

1961-90

A entalpia do ar no período climatológico 1961-90 encontra-se estatisticamente descrita na tabela 7.

Tabela 7. Medidas estatísticas do período 1961-90.

1961-90				
	Janeiro	Abril	Julho	Outubro
Média	5.9	7.3	11.6	9.4
Mediana	6.1	7.7	11.9	9.8
Máximo	7.7	8.6	13.5	11.0
Mínimo	2.7	3.4	7.7	5.2
Desvio Padrão	1.1	1.1	1.1	1.3
Classe de >Frequência	fresco	confortável fresco	quente e muito quente	confortável quente

Nas figuras 10,11,12 e 13 são apresentados os histogramas dos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente. Todos os meses nos indicam que estamos perante uma distribuição assimétrica negativa, comprovada também pelo coeficiente de skewness. A dispersão dos dados mais elevada é a do mês de Outubro.

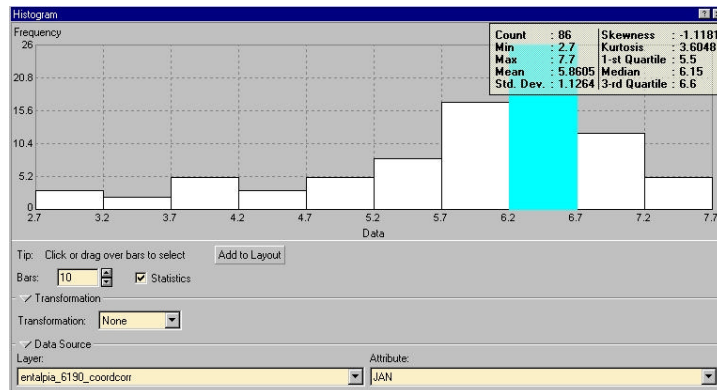


Figura 10. Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg⁻¹) em Janeiro 1961-90.

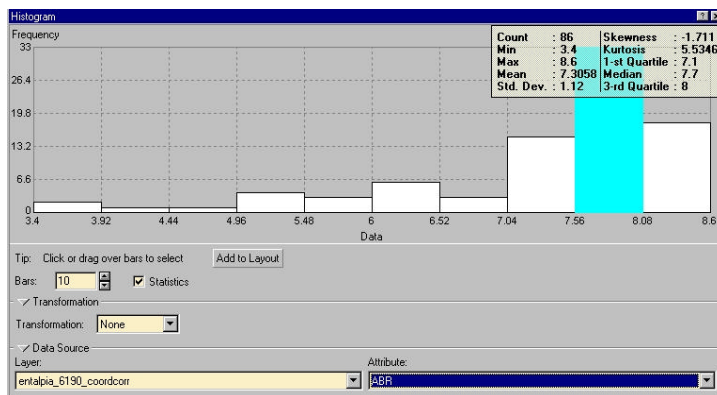


Figura 11 . Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg⁻¹) em Abril 1961-90.

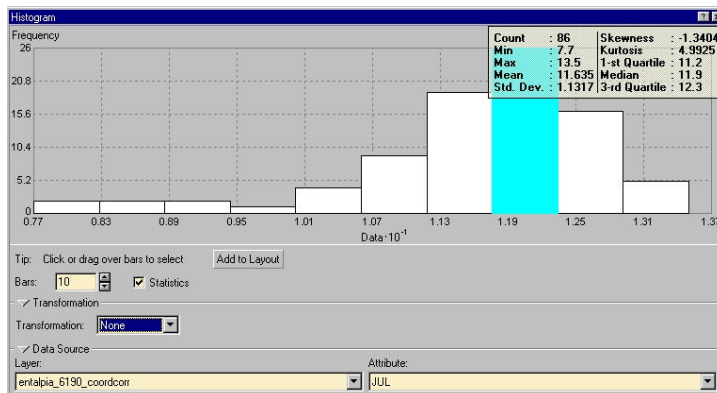


Figura 12 . Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg⁻¹) em Julho 1961-90.

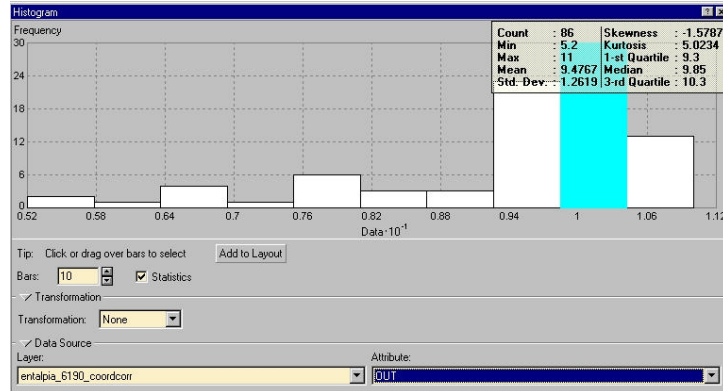


Figura 13. Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg⁻¹) em Outubro 1961-90.

Na normal climatológica 1961-90, a distribuição dos valores da entalpia apresenta o menor coeficiente de skewness (-1.11) no mês de Janeiro, isto é, mais próximo de zero, ou seja, da simetria. O mês que tem uma assimetria maior é o mês de Outubro (coeficiente de skewness -1.71). Tal facto, é também confirmado pelos valores de kurtosis de 3.6 e 5.5, para os meses de Janeiro e Abril, respectivamente. Os meses mais frio e mais quente (Janeiro e Julho), quando comparados com os restantes, são os que apresentam uma distância inter-quartil superior (1.1). A dispersão dos dados é menor nos meses de Janeiro e Abril (desvio padrão de 1.12).

1971-00

A entalpia do ar no período climatológico 1971-00 encontra-se estatisticamente descrita na tabela 8.

Tabela 8. Medidas estatísticas do período 1971-00.

1971-00				
	Janeiro	Abril	Julho	Outubro
Média	5.9	7.4	12.0	9.5
Mediana	6.0	7.8	12.1	9.8
Máximo	7.5	8.4	14.4	10.8
Mínimo	3.0	4.1	8.8	5.8
Desvio Padrão	1.0	0.9	1.0	1.1
Classe de >Frequência	fresco	confortável fresco	quente e muito quente	confortável quente

Nas figuras 14 a 17 são apresentados os histogramas dos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, respectivamente. O mês que revela maior dispersão dos dados é o mês de Outubro.

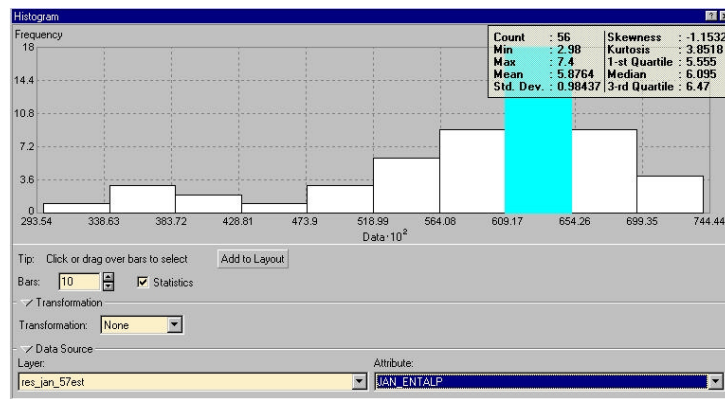


Figura 14. Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg^{-1}) em Janeiro 1971-00.

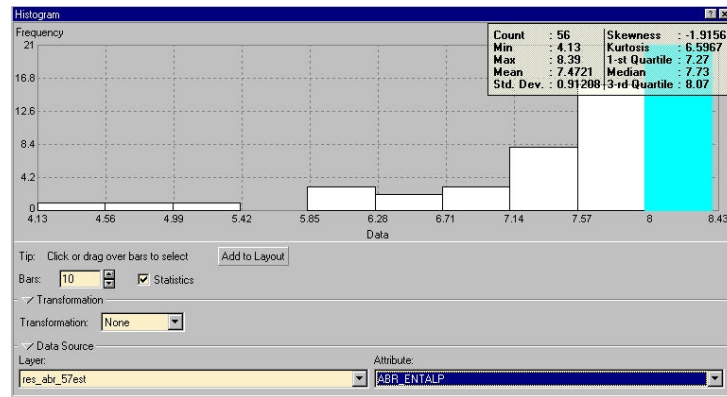


Figura 15 . Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg⁻¹) em Abril 1971-00.

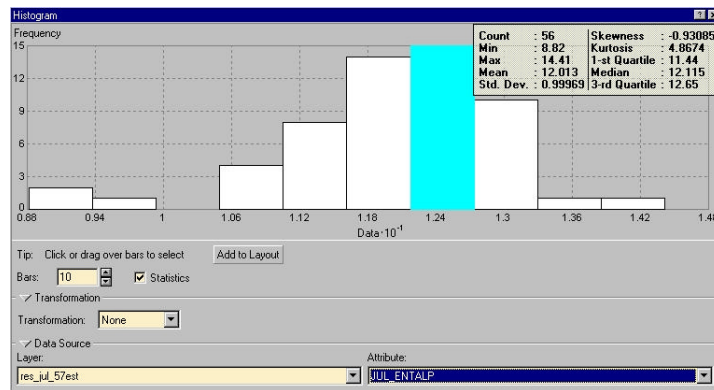


Figura 16 . Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg⁻¹) em Julho 1971-00.

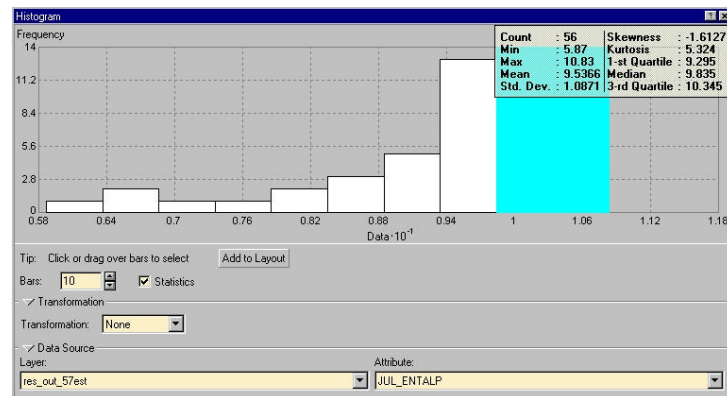


Figura 17 . Histograma e medidas estatísticas da distribuição da entalpia do ar (Kcal. Kg⁻¹) em Outubro 1971-00..

Na normal climatológica 1971-00, a distribuição dos valores da entalpia apresenta um menor coeficiente de skewness mais próximo de zero, ou seja, da simetria no mês de Julho (-0.93). Os valores de kurtosis mais baixos são os do mês de Janeiro, 3.85. O mês de Abril, é o que apresenta uma distância inter-quartil superior (1.6).

De tudo o que foi referido anteriormente, poder-se-á afirmar que a população da normal 1971-00, apresenta desvios padrão inferiores, logo uma menor dispersão dos valores da população. O mês que apresenta uma distribuição mais simétrica é o mês de Julho da normal 1971-00 (coeficiente de skewness -0.93).

Todas as populações apresentam distribuição assimétrica negativa.

Todas as populações apresentam Kurtosis superior a 3, logo com caudas relativamente grandes.

4.3 Mapas de Estimação

4.3.1 Índice de Conforto Bioclimático (1941-70)

Nesta secção, são apresentados os mapas de estimação do índice de conforto bioclimático, depois de ensaiados diversos métodos de interpolação. Os mapas são apresentados para cada período climatológico, e por mês estudado.

Janeiro

Os mapas de estimação da entalpia do ar foram elaborados recorrendo aos métodos de interpolação IDW, RBF, polinomial local e Krigagem, cujos parâmetros são apresentados na tabela 9.

O gráfico da figura 18, refere-se à regressão entre a entalpia do ar em Janeiro e a altitude. O coeficiente de determinação é de 0.81. Em todos os períodos estudados, para os 4 meses, foram calculadas as expressões de regressão entre as duas variáveis. O método seleccionado foi a regressão com Krigagem de resíduos, pois a variável altitude dá uma boa contribuição para a descrição da distribuição espacial do índice de conforto bioclimático.

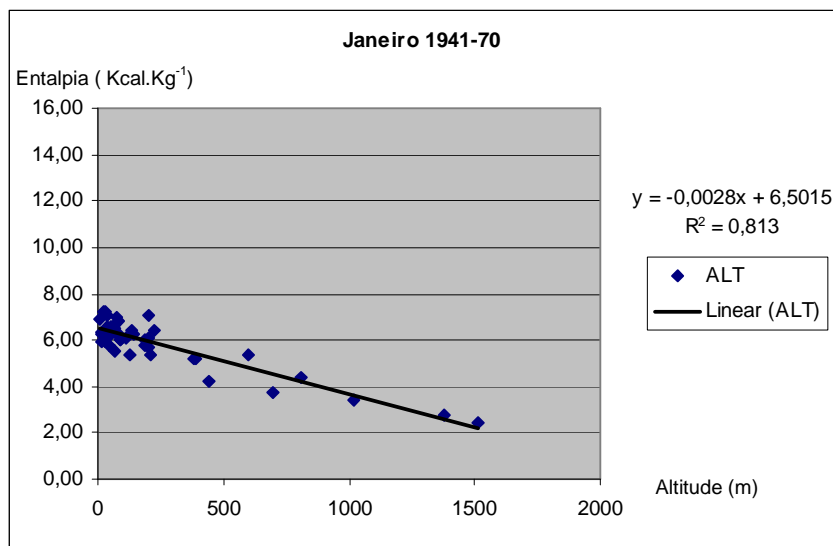


Figura 18. Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Janeiro (1941-70).

Optou-se por seleccionar os parâmetros direccionais através da krigagem normal, sendo posteriormente aplicados aos restantes métodos determinísticos e geoestatísticos. Em todos os métodos geoestatísticos aplica-se o modelo esférico. Neste caso a direcção do eixo maior da elipse para a krigagem foi 14°, o eixo principal 170 Km e o secundário 70 Km.

Tabela 9 . Parâmetros de interpolação em Janeiro 1941-70.

Método		Outros Parâmetros			
IDW		Valor Optimizado 2.6621			
RBF		Valor Optimizado 0.0006			
Polinomial Local		Peso 625857.94			
		Ordem da Remoção de Tendência	Range (Km)	Efeito de Pepita	Patamar
Kriging	Normal	1	170	0.1	0.26
	Universal	1	170	0.1	0.19

Em Janeiro (figura 20), o território de Portugal Continental agrupa-se basicamente em quatro classes de conforto bioclimáticos de acordo com a escala de sensação bioclimática de Brazol/Gregorczuk, já apresentada no segundo capítulo.

Neste mês predominam as classes de sensação de conforto bioclimático **frio moderado** (59.3 %). As zonas classificadas como frio glacial leve ou moderado ocupam áreas reduzidas, coincidindo com elevadas altitudes no Norte do país nomeadamente, na Serra da Estrela e em algumas áreas do Minho e Trás-os-Montes. As zonas classificadas como frio moderado surgem

com uma orientação NW-SE, desenvolvem-se no Norte e Centro do país, à exceção da faixa litoral, e coincidem com as áreas mais elevadas no Sul do país. O resto da país é caracterizado como fresco (32.1%). A maior extensão corresponde à classe frio moderado (3.5-6.0 Kcal. Kg⁻¹), com cerca de 59.3%, a que se segue a classe fresco (6.0-7.5 Kcal. Kg⁻¹), com cerca de 35.30%, a classe frio (2.5-3.5 Kcal. Kg⁻¹) com 4.9%, e por último a classe de frio glacial leve ou moderado com apenas 0.4%. Como se verificará este é o único mês em que surgem áreas com este tipo de sensação (frio e frio glacial leve ou moderado), embora estas sejam de reduzida dimensão.

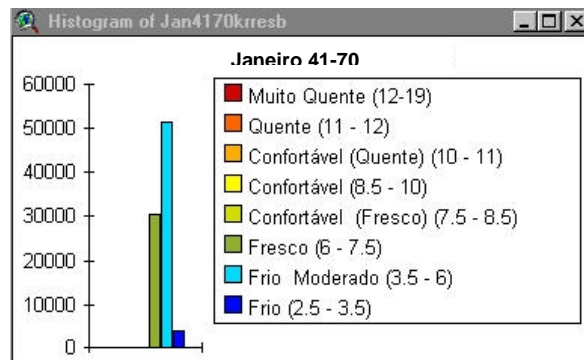


Figura 19. Histograma do índice de conforto bioclimático em Janeiro 1941-70.

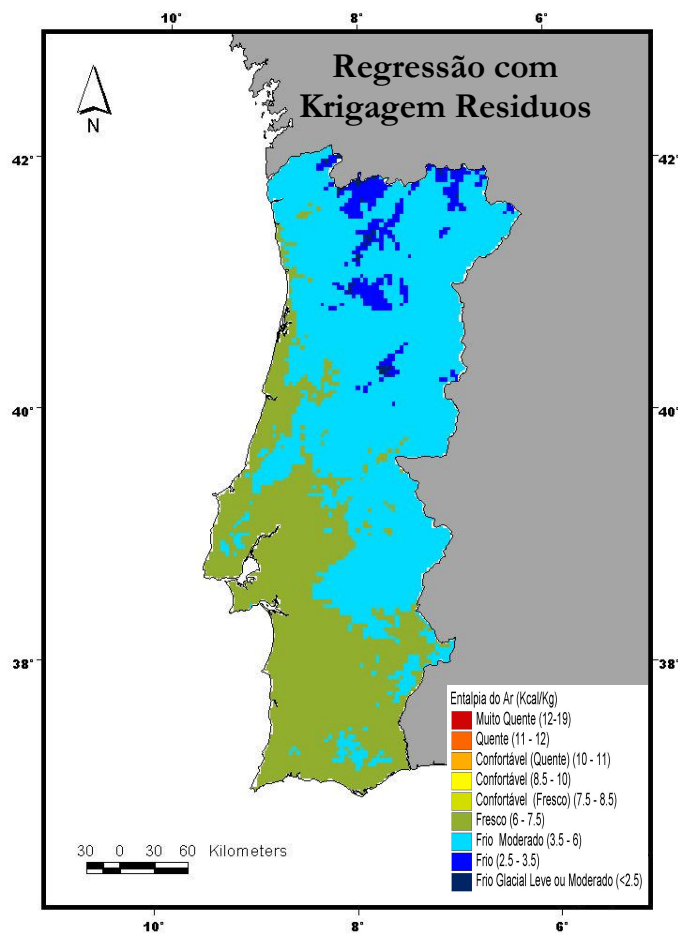


Figura 20 . Índice de conforto bioclimático (1941-70) de Janeiro – Regressão com Krigagem de Resíduos.

Abril

Seguindo o método aplicado anteriormente , no mês de Abril a direcção do eixo maior da elipse para a krigagem foi cerca de 7º, o eixo principal 170 Km e o secundário 70 Km. Os parâmetros utilizados na elaboração dos mapas de estimação da entalpia do ar (Fig.23) no mês de Abril, encontram-se descritos na tabela 10.

Tabela 10. Parâmetros de interpolação em Abril 1941-70.

Método		Outros Parâmetros			
IDW		Valor Optimizado 4.7141			
RBF		Valor Optimizado 0.00009			
Spline		Valor Optimizado 0.00009			
Polinomial		Peso 129546.4			
Local		Peso 129546.4			
		Ordem da Remoção de Tendência	Range (Km)	Efeito de Pepita	Patamar
Kriging	Normal	1	170	0.2	0.3
	Universal	1	170	0.2	0.38

O gráfico da figura 21, descreve a regressão entre a entalpia do ar em Abril e a altitude. O coeficiente de determinação é de 0.8.

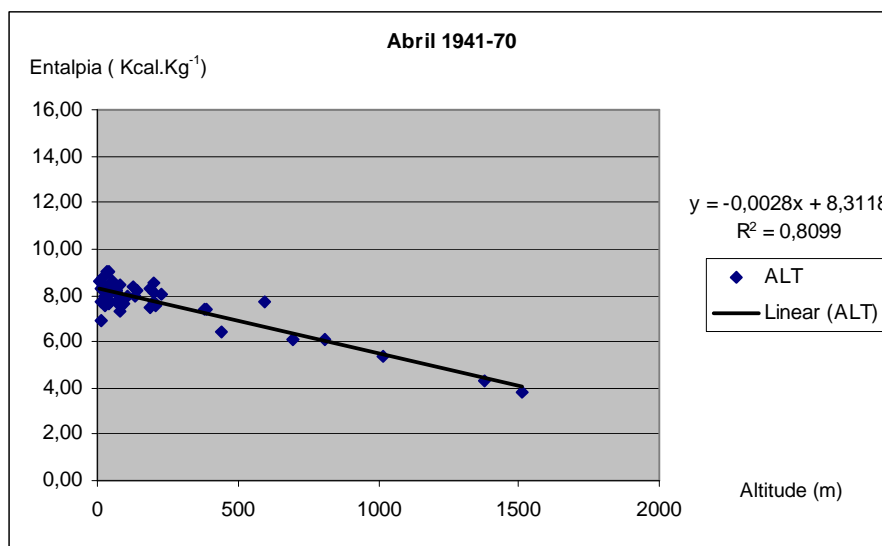


Figura 21 . Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Abril (1941-70).

Em Abril à semelhança do mês de Janeiro diferenciam-se também quatro categorias de conforto bioclimático de acordo com a escala de sensação de conforto bioclimático, contudo as classes predominantes são **confortável fresco** (7.5-8.5 Kcal. Kg⁻¹) e **fresco** (6.0-7.5 Kcal. Kg⁻¹), ocupando um total de cerca de 87% do território nacional. Neste mês os valores de entalpia do ar são mais elevados, variam entre 3.5 e 10.0 Kcal. Kg⁻¹.

Aproximadamente 53.7% de todo o território já apresenta sensações confortáveis frescas (7.5-8.5 Kcal. Kg⁻¹), que ocupam uma área localizada no Centro e Sul do território, coincidindo com as regiões de menores altitudes e basicamente localizadas no litoral. 36.4 % ocupam uma faixa mais estreita, no sector mais elevado , com uma orientação NW-SE, a que corresponde uma sensação bioclimática de fresco (6.0-7.5 Kcal. Kg⁻¹). Somente 8.1% oferece uma sensação de frio moderado (3.5-6.0 Kcal. Kg⁻¹), sendo que esta zona se localiza nas altitudes elevadas, na área da Serra da Estrela, nas altas montanhas do Gerês e em alguns planaltos do Douro. A sensação confortável (8.5-10 Kcal. Kg⁻¹) ocupa apenas 4.7 % de todo o território continental.

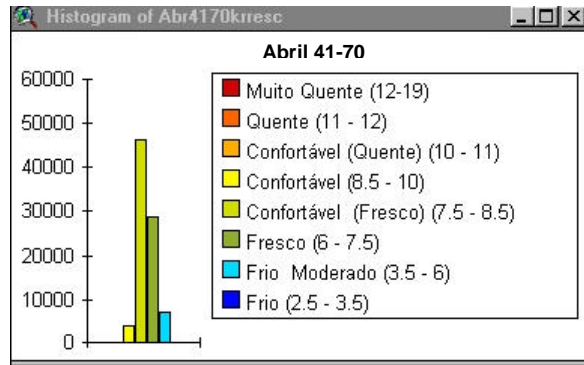


Figura 22. Histograma do índice de conforto bioclimático em Abril 1941-70.

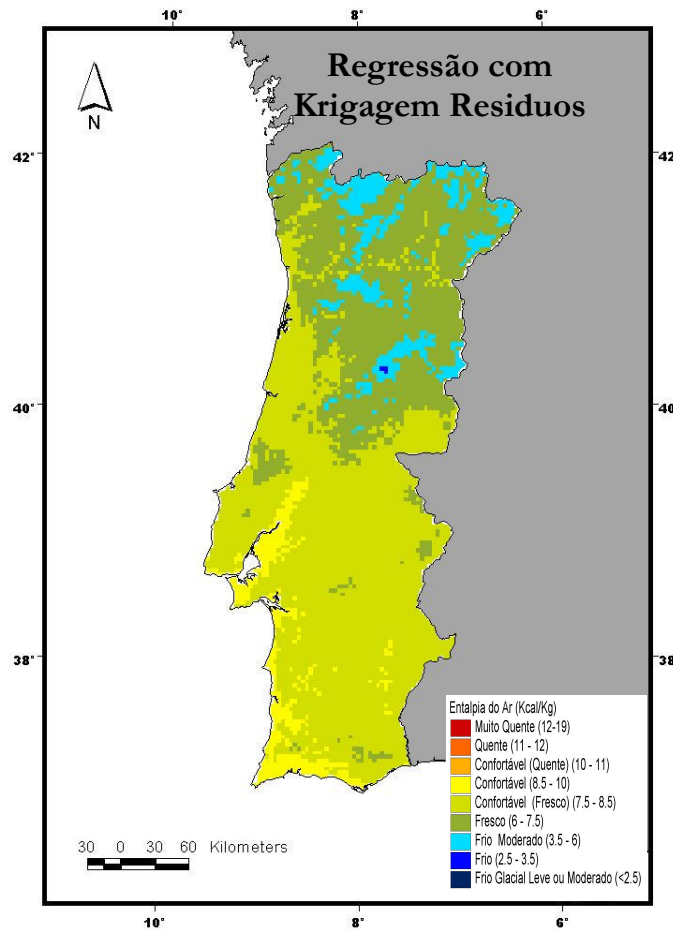


Figura 23 . Índice de conforto bioclimático (1941-70) de Abril – Regressão com Krigagem de Resíduos.

Julho

No mês de Julho a direcção do eixo maior da elipse para a krigagem foi 7°, o eixo principal 170 Km e o secundário 135 Km.

Os parâmetros utilizados na elaboração dos mapas de estimação da entalpia do ar (Fig. 26) no mês de Julho, encontram-se descritos na tabela 11.

Tabela 11 . Parâmetros de interpolação em Julho 1941-70.

Método		Outros Parâmetros			
IDW		Valor Optimizado 2.6303			
RBF		Valor Optimizado 0.003762			
Spline		Valor Optimizado 0.003762			
Polinomial		Peso 594220.9			
Local		Peso 594220.9			
		Ordem da Remoção de Tendência	Range (Km)	Efeito de Pepita	Patamar
Kriging	Normal	1	170	0.1	1.3
	Universal	1	170	0.05	1.5

O gráfico da figura 24 , descreve a regressão entre a entalpia do ar em Julho e a altitude. Neste mês o coeficiente de determinação é muito baixo, apenas 0.43, valores por norma rejeitados.

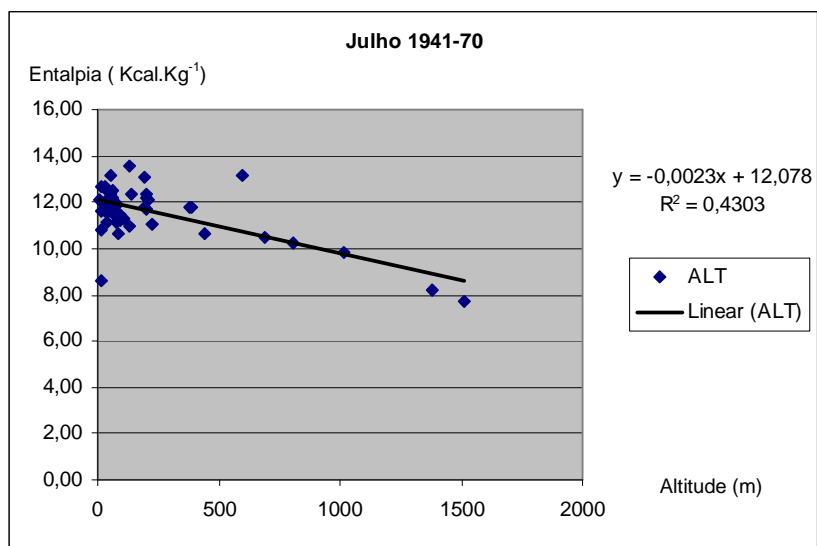


Figura 24. Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Julho (1941-70).

Em Julho (Fig. 26), diferenciam-se cinco classes de conforto bioclimático, por todo o território continental. Este mês surge, como seria de esperar, com o predomínio de sensações **quentes e muito quentes**, 95.8% de todo o território apresenta-se nestas condições, nomeadamente com as classes muito quente (12.0-19.0 Kcal. Kg⁻¹), quente (11.0-12.0 Kcal. Kg⁻¹) e confortável quente (10-11.0 Kcal. Kg⁻¹). Apenas 3.7% do território se encontra numa situação de conforto climático, nomeadamente nas regiões da Serra da Estrela junto à nascente do rio Mondego (a SW do distrito da Guarda), na margem esquerda do rio Douro (a norte do distrito de Viseu), e no Gerês (a ocidente do distrito de Vila Real). A classe de conforto fresco (7.5-8.5 Kcal. Kg⁻¹), a que correspondem valores percentuais de apenas 0,4%, localiza-se na Serra da Estrela. Neste mês destaca-se também o litoral Algarvio, com a classe de conforto muito quente (12.0-19.0 Kcal/Kg).

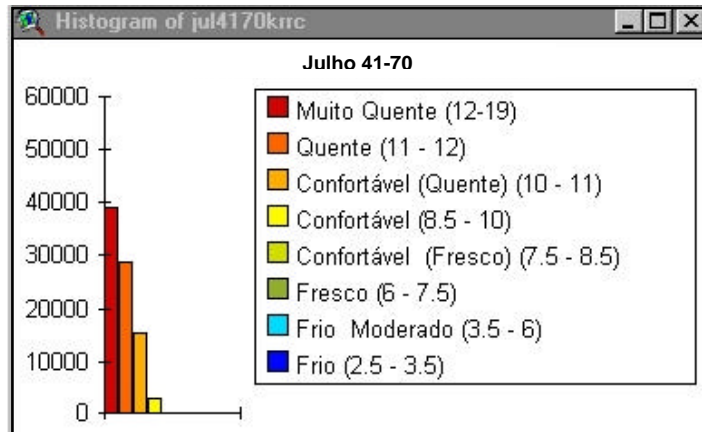


Figura 25 . Histograma do índice de conforto bioclimático em Julho 1941-70.

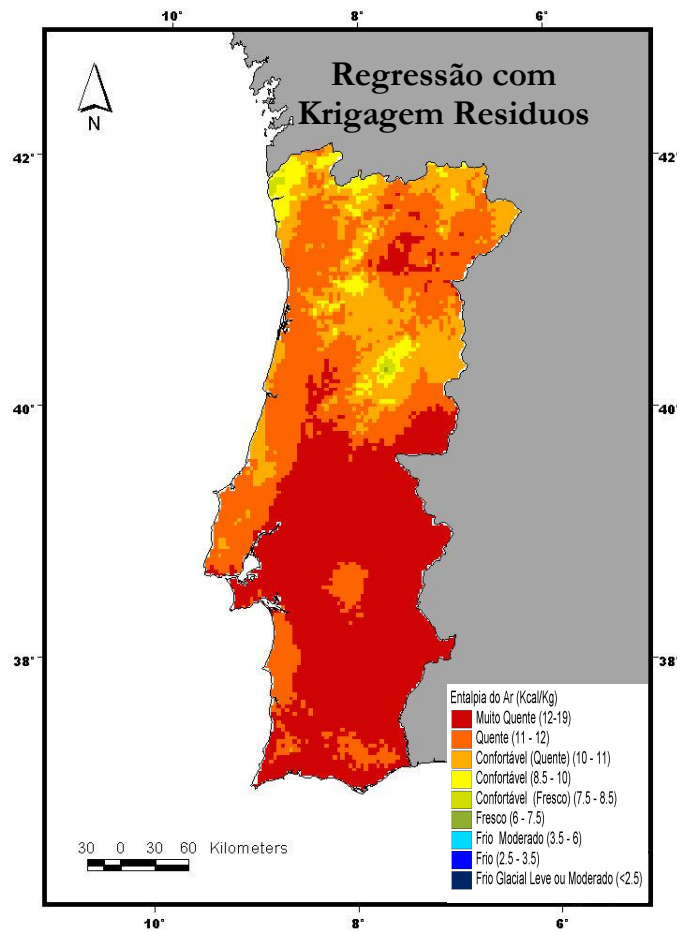


Figura 26. Índice de conforto bioclimático (1941-70) de Julho – Regressão com Krigagem de resíduos.

Outubro

A direcção do eixo maior da elipse para a krigagem no mês de Outubro foi de 6°, o eixo principal mede 135 Km e o secundário 100 Km.

Os parâmetros utilizados na elaboração cartográfica podem observar-se na tabela 12.

Tabela 12 . Parâmetros de interpolação em Outubro 1941-70.

Método		Outros Parâmetros			
IDW		Valor Optimizado 2.593			
RBF		Valor Optimizado 0.0001			
Spline		Valor Optimizado 0.0001			
Polinomial		Peso 129310.7			
Local		Peso 129310.7			
		Ordem da Remoção de Tendência	Range (Km)	Efeito de Pepita	Patamar
Kriging	Normal	1	135	0.07	2.6
	Universal	1	135	0.05	2.7

O gráfico da figura 27, descreve a regressão entre a entalpia do ar em Outubro e a altitude. O coeficiente de determinação é de 0.82.

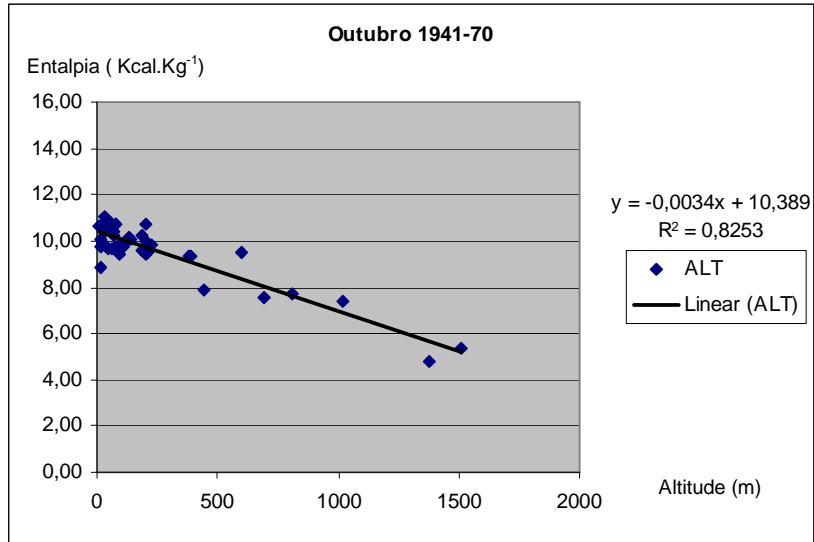


Figura 27 . Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Outubro (1941-70).

Em Outubro (Fig. 29), a classe predominante do índice de conforto bioclimático é a que corresponde à sensação de **conforto** (43%). À semelhança do mês de Julho diferenciam-se mais classes, ao todo cinco classes de conforto bioclimático, por todo o território continental. Este mês caracteriza-se pelo predomínio de sensações confortáveis, cerca de 92%, nomeadamente com as classes confortável (8,5 -10.0 Kcal. Kg⁻¹) , confortável quente (10.0 -11.0 Kcal. Kg⁻¹) e confortável fresco (7,5 - 8,5 Kcal. Kg⁻¹). As zonas frias ocupam uma área estreita que coincide com a Serra da Estrela, nomeadamente na região de Manteigas, e Covilhã, ocupando apenas 0.52% do território continental. O litoral Algarvio, destaca-se em termos positivos pois todo ele apresenta nesta altura do ano sensação confortável quente (10.0 -11.0 Kcal. Kg⁻¹), o que favorece as actividades económicas desenvolvidas na região, em especial o turismo.

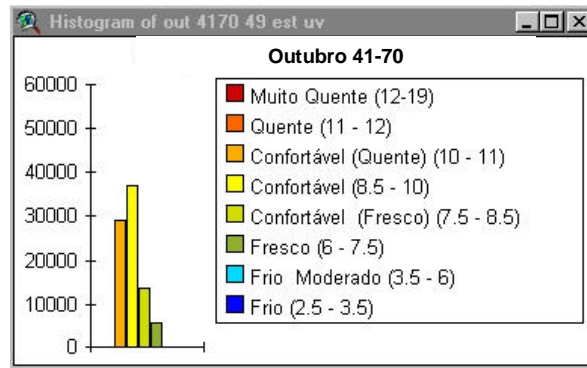


Figura 28 . Histograma do índice de conforto bioclimático em Outubro 1941-70.

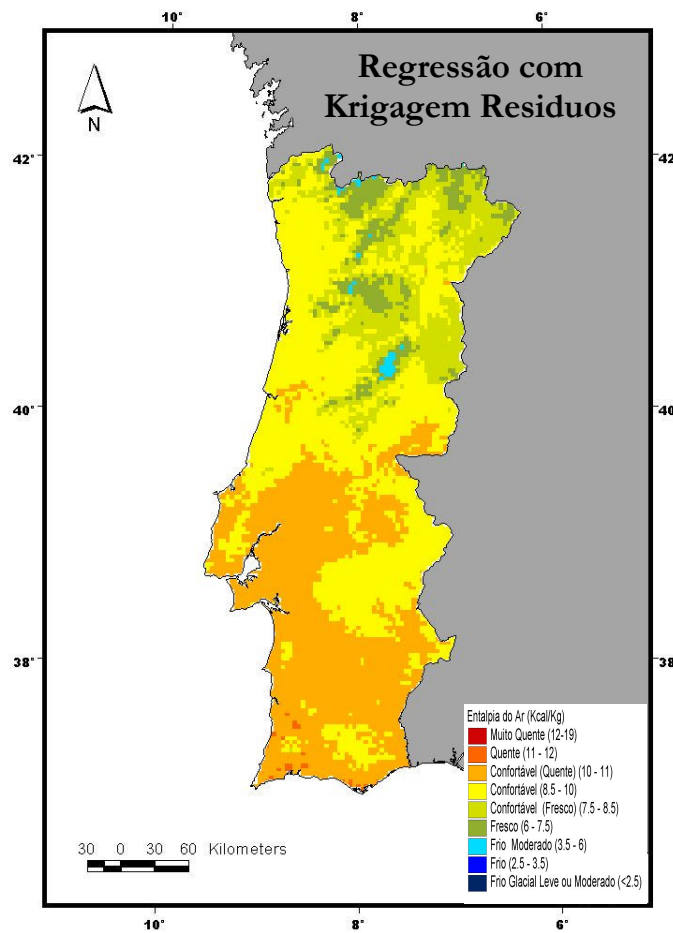


Figura 29 . Índice de conforto bioclimático (1941-70) de Outubro - Regressão com Krigagem de resíduos.

A distribuição dos parâmetros climáticos temperatura média do ar e humidade relativa do ar em Portugal Continental é claramente anisotrópica, o mesmo sucede com o parâmetro climático entalpia do ar, como se pode constatar pelos resultados obtidos através do alcance do eixo maior (*range*) do semivariograma.

Se analisarmos os quadros relativos aos diferentes métodos de interpolação aplicados à entalpia do ar, podemos constatar o seguinte:

- A direcção do eixo principal é cerca de 7° para os meses de Julho e Abril, e Outubro e 14° para o mês de Janeiro.
- À excepção do mês de Outubro, os restantes apresentam um range mais elevado. Quer isto dizer que nos meses de Janeiro, Abril e Julho, o comportamento da variável entalpia é mais contínuo. Nestes meses a variável está bem correlacionada no espaço e as previsões resultam em mapas com menor variabilidade de estimação.
- Nos métodos geoestatísticos o modelo aplicado a todos os meses foi o modelo esférico.
- O patamar mais elevado é o do mês de Outubro (2.7) e o menor o do mês de Janeiro (0.19), pelo que as variâncias dos resíduos são mais elevadas no mês de Outubro.
- Os coeficientes de determinação entre a entalpia do ar e a altitude são mais elevados no mês de Janeiro e Abril (ambos com 0.81), a que se segue o mês de Outubro (0.77) e Julho (0.43) . Os resultados a serem tomados com mais cuidados são os relativos a Julho.

4.3.2 Índice de Conforto Bioclimático (1961-90)

Janeiro

No mês de Janeiro a direcção do eixo maior da elipse para a krigagem foi 6°, o eixo principal é de 100 Km e o secundário 70 Km. Esta informação foi aplicada na krigagem normal e aplicada aos restantes métodos.

Os parâmetros utilizados na elaboração cartográfica podem observar-se na tabela 13.

Tabela 13. Parâmetros de interpolação em Janeiro 1961-90.

Método		Outros Parâmetros			
IDW		Valor Optimizado 1.724			
RBF		Valor Optimizado 0.0008			
Polinomial Local		Peso 207443.95			
		Ordem da Remoção de Tendência	Range (Km)	Efeito de Pepita	Patamar
Kriging	Normal	1	100	0.05	0.3
	Universal	1	100	0.12	0.3

O gráfico da figura 30, descreve a regressão entre a entalpia do ar em Janeiro e a altitude. O coeficiente de determinação é de 0.81.

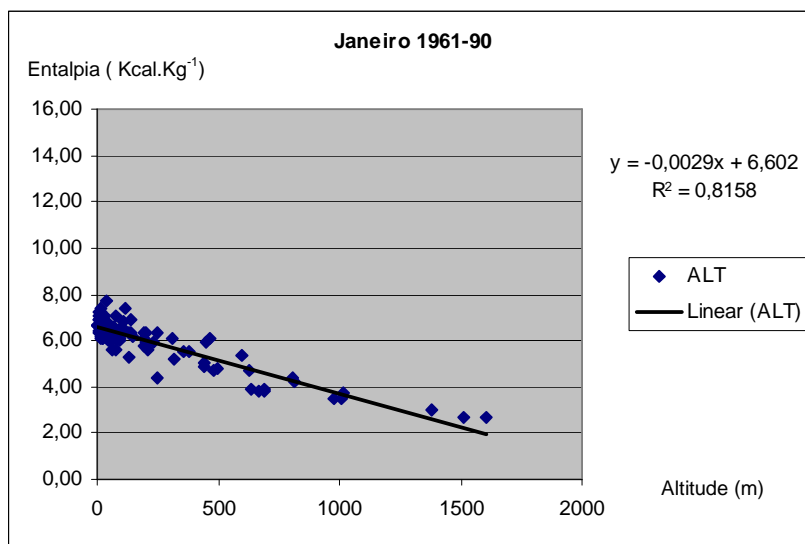


Figura 30 . Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Janeiro (1961-90).

Em Janeiro (Fig. 32), o território de Portugal Continental agrupa-se basicamente em três categorias de conforto bioclimáticos de acordo com o quadro da escala de sensação bioclimática de Brazol/Gregorczuk.

As zonas classificadas como frio glacial leve ou moderado ocupam áreas reduzidas, coincidindo com elevadas altitudes no Norte do país nomeadamente, na Serra da Estrela e em algumas áreas do Minho e Trás-os-Montes. As zonas classificadas como frias surgem com uma orientação NW-SE, desenvolvem-se no Norte e Centro do país, à excepção da faixa litoral, e coincidem com as áreas mais elevadas no Sul do país. O resto da país é caracterizado como fresco. A maior extensão corresponde à classe **frio moderado** (3.5-6.0 Kcal. Kg⁻¹), com cerca de 51.7%, a que se segue a classe fresco (6.0-7.5 Kcal. Kg⁻¹), com cerca de 43.5%, e por último a classe frio (2.5-3.5 Kcal. Kg⁻¹), com apenas 4.1%. Neste período, classe de frio glacial leve ou moderado está presente, contudo equivale quase a uma mera percentagem residual.

A maior extensão corresponde às sensações bioclimáticas de frio moderado e fresco (cerca de 95,7%) .

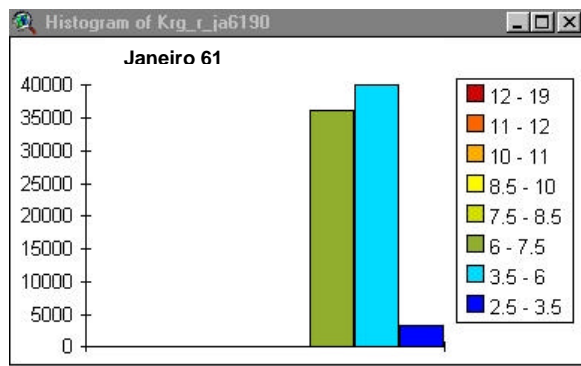


Figura 31 . Histograma do índice de conforto bioclimático em Janeiro 1961-90.

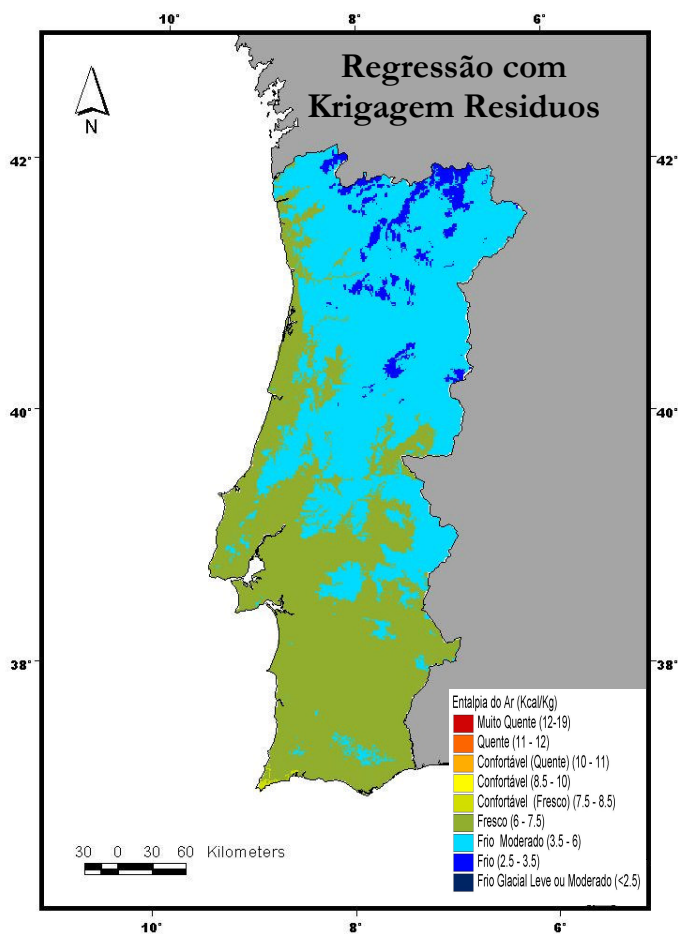


Figura 32 . Índice de conforto bioclimático (1961-90) de Janeiro - Regressão com Krigagem de resíduos .

Abril

No mês de Abril, à semelhança do mês anterior a direção do eixo maior da elipse para a krigagem foi 6°, o eixo principal é de 170 Km e o secundário 135 Km.

Os parâmetros utilizados na elaboração dos mapas de estimação da entalpia do ar (Fig.35), encontram-se descritos na tabela 14.

Tabela 14 . Parâmetros de interpolação em Abril 1961-90.

Método		Outros Parâmetros			
IDW		Valor Optimizado 1.7769			
RBF		Valor Optimizado 0.0012545			
Spline Polinomial		Peso 132324.55			
Local					
		Ordem da Remoção de Tendência	Range (Km)	Efeito de Pepita	Patamar
Kriging	Normal	1	170	0.2	0.38
	Universal	1	170	0.1	0.8

O gráfico da figura 33 , descreve a regressão entre a entalpia do ar em Abril e a altitude. Neste mês, o coeficiente de determinação é muito elevado, cerca de 0.90.

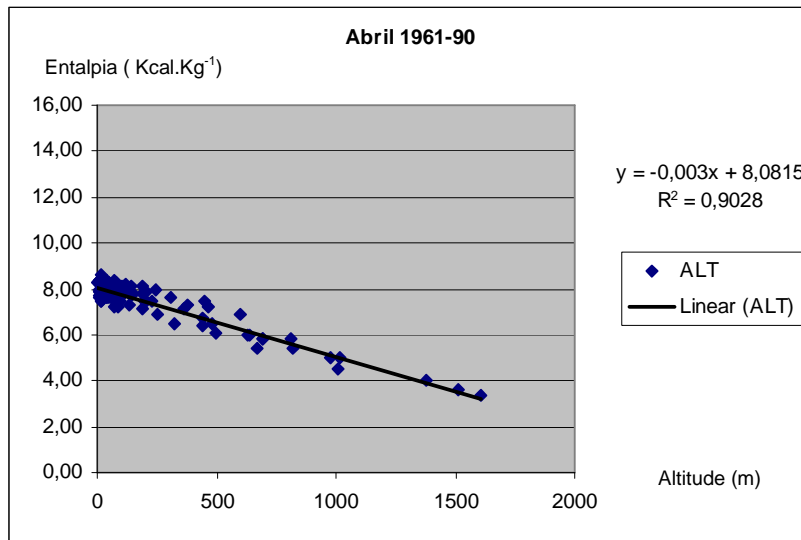


Figura 33. Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Abril (1961-90).

Em Abril as classes predominantes de conforto bioclimático são **confortável fresco** (7.5-8.5 Kcal. Kg⁻¹) e **fresco** (6.0-7.5 Kcal. Kg⁻¹), ocupando cerca de 84% de Portugal continental.

Neste mês os valores de entalpia do ar são mais elevados, variam entre 3.5 e 8.5 Kcal. Kg⁻¹.

Aproximadamente 46.3% de todo o território já apresenta sensações confortáveis frescas (7.5-8.5 Kcal. Kg⁻¹), que ocupam uma área localizada no Centro e Sul do território, coincidindo com as regiões de menores altitudes e basicamente localizadas no litoral. 38.2 % ocupam uma faixa mais estreita, no sector mais elevado, com uma orientação NW-SE, a que corresponde uma sensação bioclimática de fresco (6.0-7.5 Kcal.Kg⁻¹). Somente 16.6% oferece uma sensação de frio moderado (3.5 -6.0 Kcal/Kg), sendo que esta zona se localiza nas altitudes elevadas, na área da Serra da Estrela, nas altas montanhas do Gerês e em alguns planaltos do Douro.

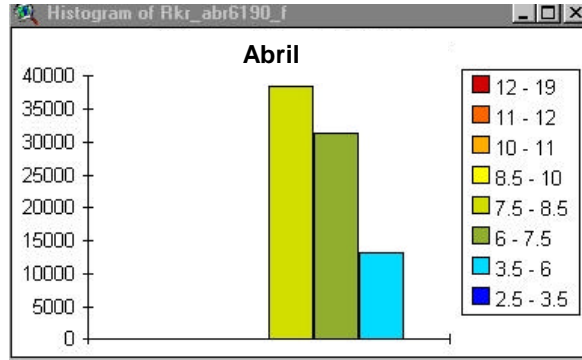


Figura 34 . Histograma do índice de conforto bioclimático em Abril 1961-90.

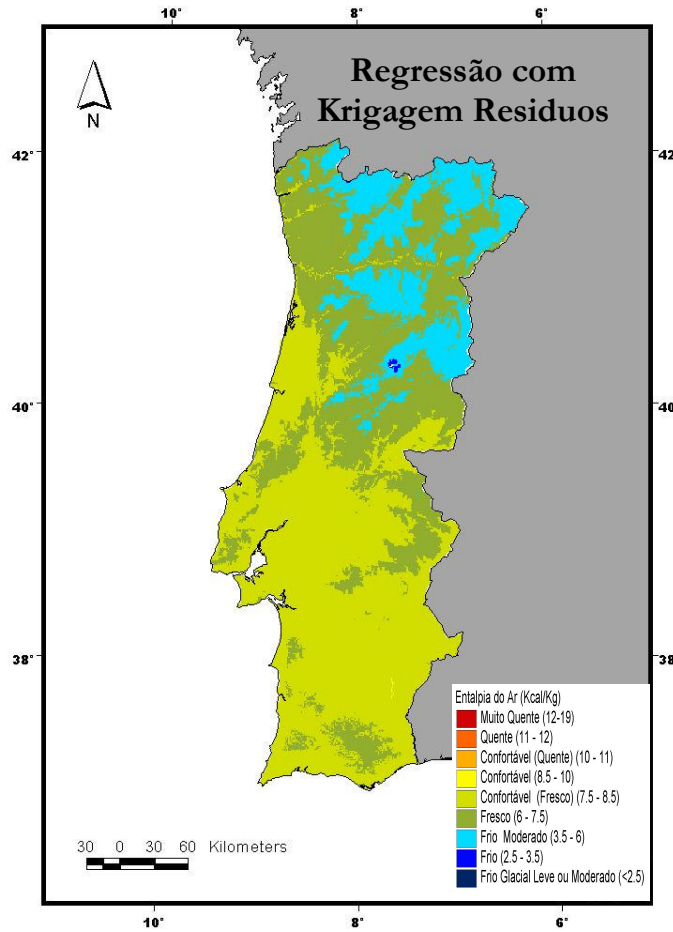


Figura 35 . Índice de conforto bioclimático (1961-90) de Abril - Regressão com Krigagem de resíduos .

Julho

A direcção do eixo maior da elipse para a krigagem no mês de Julho foi 0°, sendo o comprimento do eixo principal de 190 Km e o do eixo secundário de 135 Km.

Os parâmetros utilizados na elaboração dos mapas de estimação da entalpia do ar (Fig.38) no mês de Julho, encontram-se descritos na tabela 15.

Tabela 15. Parâmetros de interpolação em Julho 1961-90.

Método		Outros Parâmetros			
IDW		Valor Optimizado 1.7392			
RBF		Valor Optimizado 0.0008			
Spline		Valor Optimizado 0.0008			
Polinomial		Peso 132295.57			
Local		Peso 132295.57			
		Ordem da Remoção de Tendência	Range (Km)	Efeito de Pepita	Patamar
Kriging	Normal	1	190	0.3	0.9
	Universal	1	190	0.32	0.95

O gráfico da figura 36 , descreve a regressão entre a entalpia do ar em Julho e a altitude. O coeficiente de determinação é baixo, cerca de 0.64.

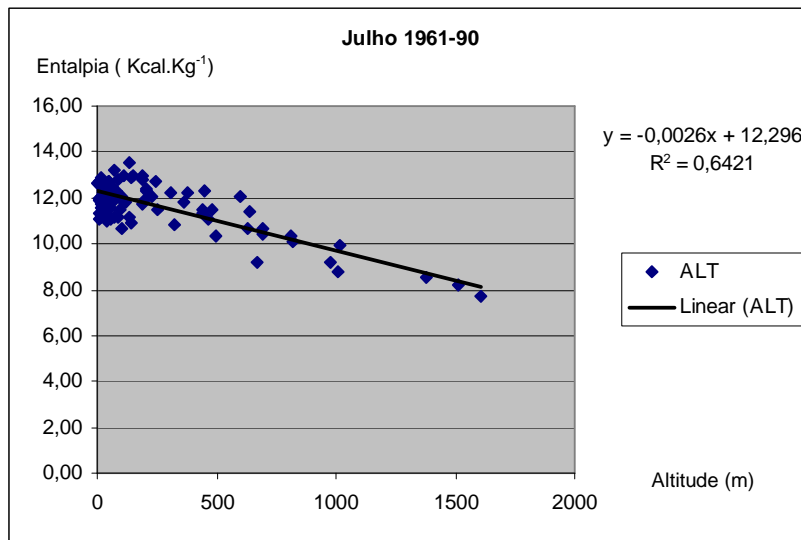


Figura 36. Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Julho (1961-90).

Em Julho (Fig. 38), diferenciam-se seis classes de conforto bioclimático, por todo o território continental. As sensações de conforto bioclimático predominantes são as **quentes e muito quentes**, 95.1% de todo o território apresenta-se nestas condições, nomeadamente com as classes muito quente (12.0-19.0 Kcal. Kg⁻¹), quente (11.0-12.0 Kcal. Kg⁻¹) e confortável quente (10-11.0 Kcal. Kg⁻¹). Apenas 4,3 % do território se encontra numa situação de conforto climático, nomeadamente nas regiões da Serra da Estrela junto à nascente do rio Mondego (a SW do distrito da Guarda), na margem esquerda do rio Douro (a norte do distrito de Viseu), e no Gerês (a Leste do distrito de Vila Real). Embora possa não ser perceptível, surge uma área muito circunscrita nas proximidades da Covilhã, com valores de conforto bioclimático fresco (6.0-7.5 Kcal. Kg⁻¹), a que corresponde a valores percentuais de apenas 0,54%. Neste mês destaca-se também o litoral Algarvio, com a classe de conforto muito quente (12.0-19.0 Kcal/Kg).

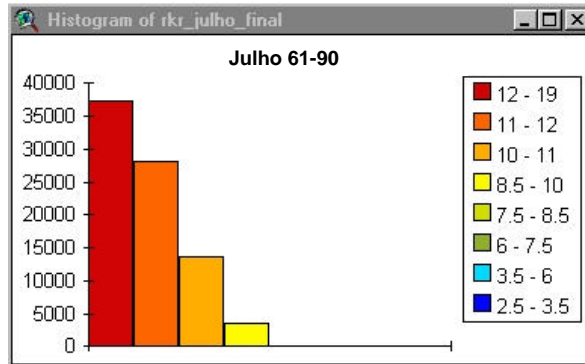


Figura 37 . Histograma do índice de conforto bioclimático em Julho 1961-90.

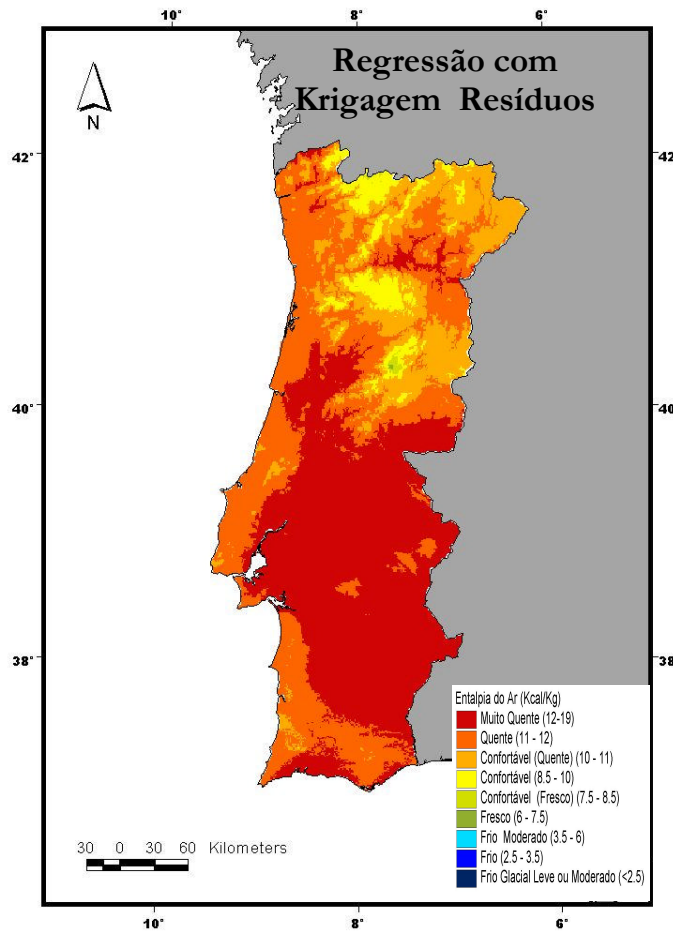


Figura 38 . Índice de conforto bioclimático (1961-90) de Julho – Regressão com Krigagem de Resíduos .

Outubro

A direcção do eixo maior da elipse para a krigagem no mês de Outubro foi 6° , o eixo principal mede 170 Km e o secundário 135 Km.

O mapa de estimação da entalpia do ar no mês de Outubro (Fig. 41) foi elaborado recorrendo aos seguintes métodos de interpolação, cujos parâmetros utilizados se podem observar na tabela 16.

Tabela 16. Parâmetros de interpolação em Outubro 1961-90.

Método		Outros Parâmetros			
IDW		Valor Optimizado 1.7756			
RBF		Valor Optimizado 0.0008			
Spline		Valor Optimizado 0.0008			
Polinomial		Peso 628829.45			
Local		Peso 628829.45			
		Ordem da Remoção de Tendência	Range (Km)	Efeito de Pepita	Patamar
Kriging	Normal	1	170	0.2	0.8
	Universal	1	170	0.1	0.8

O gráfico da figura 39 , descreve a regressão entre a entalpia do ar em Outubro e a altitude. O coeficiente de determinação é de 0.87.

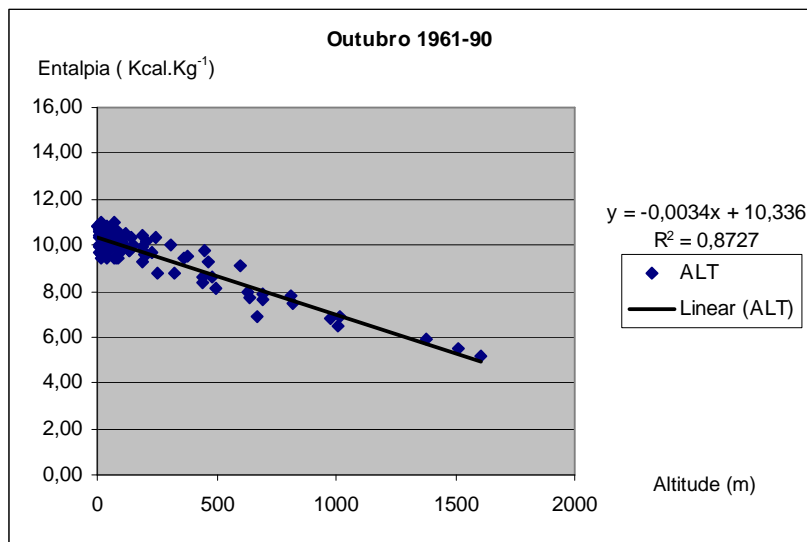


Figura 39 . Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Outubro (1961-90).

Em Outubro 1961-90 (Fig. 41), a classe de conforto bioclimático predominante continua a ser a da sensação **confortável**, contudo neste período a classe confortável quente ocupa já cerca de 28.2% do território continental. Este mês caracteriza-se pelo predomínio de sensações confortáveis, cerca de 90,5 %, nomeadamente com as classes confortável (8,5 -10.0 Kcal. Kg⁻¹) , confortável quente (10.0 -11.0 Kcal. Kg⁻¹) e confortável fresco (7,5 - 8,5 Kcal. Kg⁻¹). As zonas de frio moderado, ocupam uma área estreita que coincide com a Serra da Estrela, nomeadamente na região de Manteigas, e Covilhã, ocupando apenas 0,5% do território continental. Cerca de 8.5 % do território apresentam um zonagem de sensação de fresco.

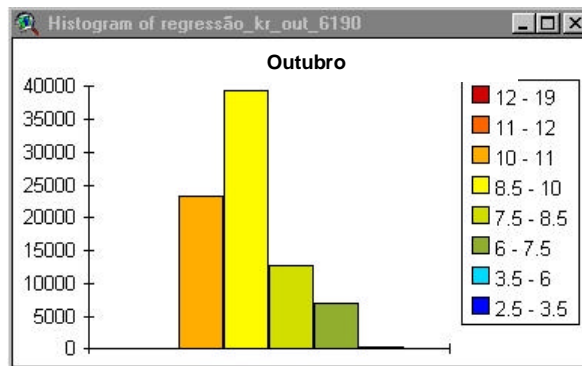


Figura 40. Histograma do índice de conforto bioclimático em Outubro 1961-90.

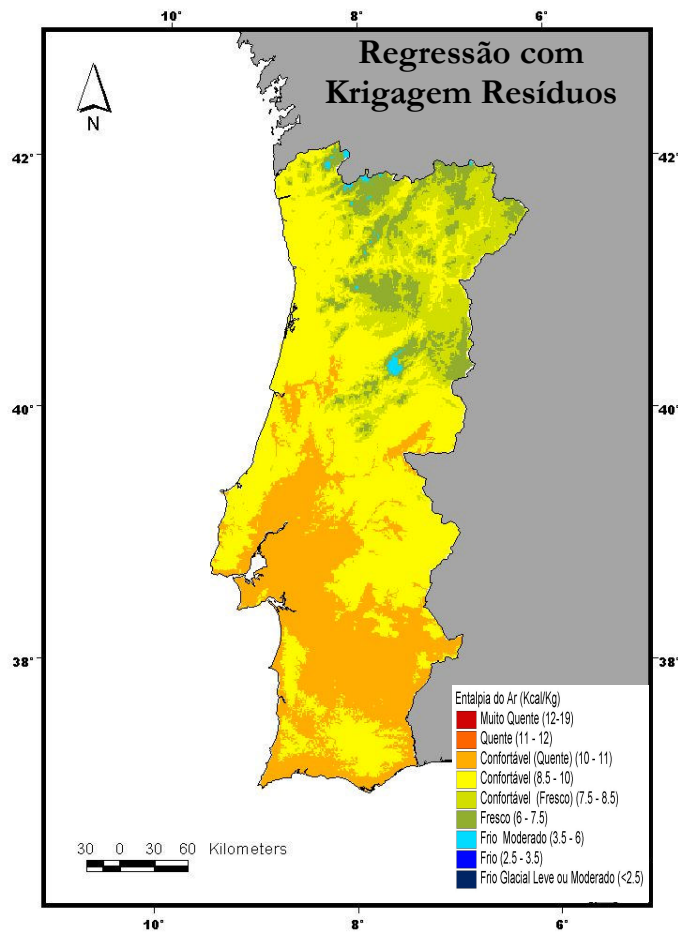


Figura 41 . Índice de conforto bioclimático (1961-90) de Outubro – Regressão com Krigagem de Resíduos .

Os mapas resultantes da normal 1961-90, apresentam algumas diferenças, quando comparados com os do período 1941-70.

Se analisarmos os quadros relativos aos diferentes métodos de interpolação aplicados, podemos constatar o seguinte:

- A direcção do eixo principal é de 6° para os meses de Janeiro, Abril e Outubro, para o mês de Julho a direcção do eixo principal é de 0° .
- O mês de Julho tem um range de 190 Km, ao passo que o mês de Janeiro tem um alcance menor, 100 Km. Os meses que caracterizam as estações do ano de transição apresentam eixos iguais (170*135 Km). Neste caso, é o mês de Julho que poderá apresentar uma menor variabilidade espacial, e por conseguinte uma melhor correlação espacial.
- Nos métodos geoestatísticos o modelo aplicado a todos os meses foi o modelo esférico.
- O patamar mais elevado é o do mês de Julho (0.9) e o menor o do mês de Janeiro (0.3). As variâncias espaciais do mês de Julho são maiores do que as do mês de Janeiro.
- O coeficiente de determinação entre a entalpia e a altitude mais elevado é o do mês de Abril (0.90), a que se segue o do mês de Outubro (0.87), Janeiro (0.81) e por último o do mês de Julho (0.64).

4.3.3 Índice de Conforto Bioclimático (1971-00)

Janeiro

Os parâmetros de interpolação caracterizam-se pela direcção do eixo maior da elipse para a krigagem de 10°, o eixo principal mede 135 Km e o secundário 100 Km. A metodologia aplicada anteriormente mantém-se. Os parâmetros dos métodos de interpolação podem ser observados na tabela 17.

Tabela 17 . Parâmetros de interpolação em Janeiro 1971-00.

Método		Outros Parâmetros			
IDW		Valor Optimizado 2			
RBF		Valor Optimizado 0.000144			
Spline Polinomial		Peso 654181.3			
Local		Peso 654181.3			
		Ordem da Remoção de Tendência	Range (Km)	Efeito de Pepita	Patamar
Kriging	Normal	1	135	0.01	0.3
	Universal	1	135	0.02	0.3

O gráfico da figura 42, descreve a regressão entre a entalpia do ar em Janeiro e a altitude. O coeficiente de determinação é de 0.73.

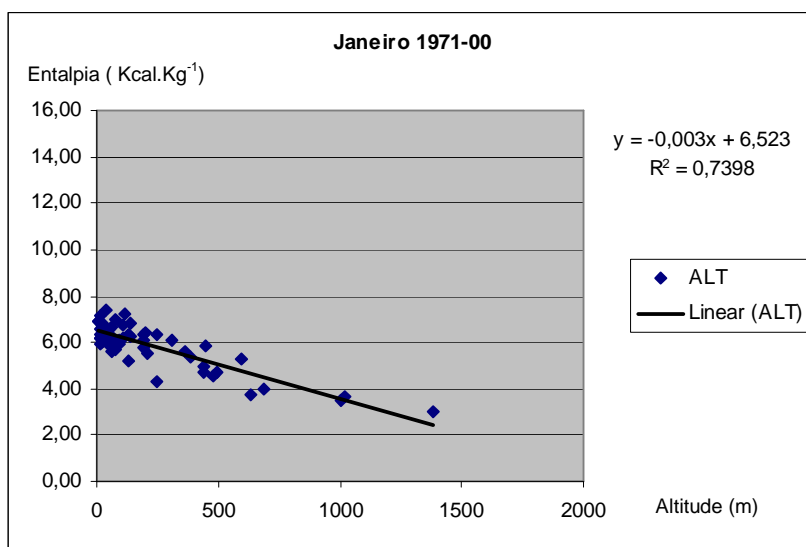


Figura 42 . Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Janeiro (1971-00).

Em Janeiro 1971-00 (Fig. 44), o território de Portugal Continental apresenta 4 classes de conforto bioclimáticos da escala de sensação bioclimática de Brazol/Gregorczuk.

As zonas classificadas como frio glacial leve ou moderado ocupam áreas muito reduzidas, correspondendo a uma percentagem residual, e coincidindo com elevadas altitudes no Norte do país nomeadamente, na Serra da Estrela e em algumas áreas do Minho e Trás-os-Montes. As classes que predominam são a de **frio moderado** (3.5-6.0 Kcal. Kg⁻¹) com 56 %, e a classe de **fresco** (6.0-7.5 Kcal. Kg⁻¹) com 41.4 % de todo o território continental. A classe de sensação de conforto bioclimático frio (2.5-3.5 Kcal. Kg⁻¹), ocupa apenas 2.7% do território nacional.

As zonas classificadas como frio moderado, surgem com uma orientação NW-SE, desenvolvem-se no Norte e Centro do país, à excepção da faixa litoral, e coincidem com as áreas mais elevadas no Sul do país.

A maior extensão corresponde às sensações bioclimáticas de frio moderado e fresco (cerca de 99,9%) .

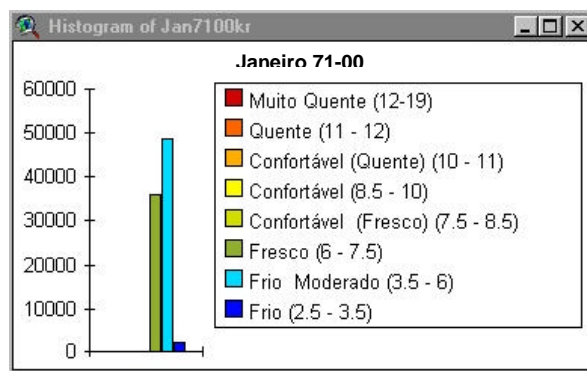


Figura 43 . Histograma do índice de conforto bioclimático em Janeiro 1971-00.

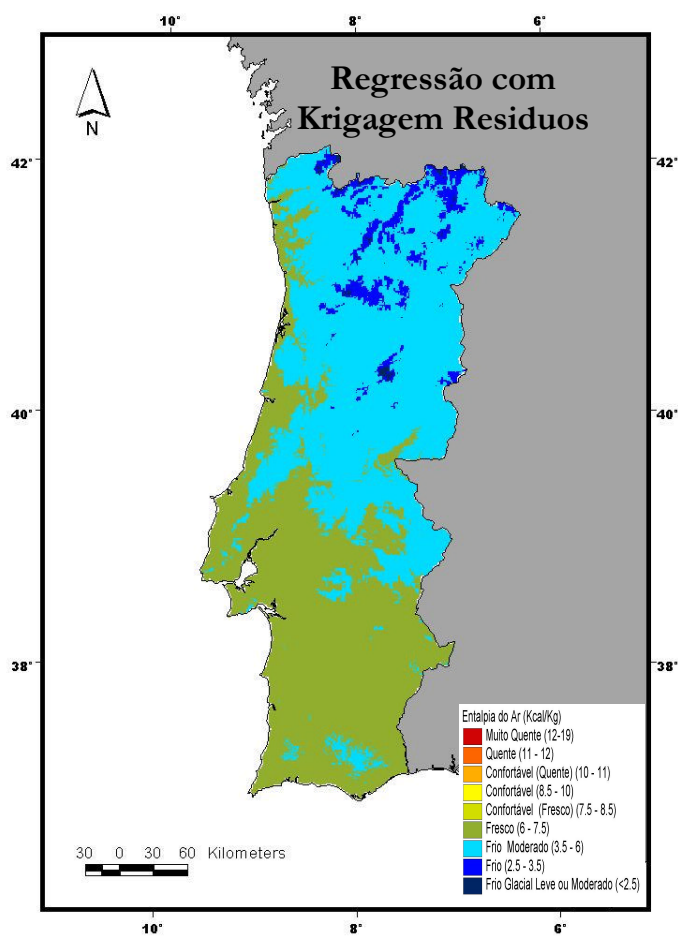


Figura 44 . Índice de conforto bioclimático (1971-00) de Janeiro - Regressão com Krigagem de resíduos.

Abril

Em Abril , os parâmetros de interpolação da tabela 18, caracterizam-se pela direcção do eixo maior da elipse para a krigagem. A direcção do eixo maior da elipse para a krigagem foi 0°, e ambos os eixos principal e secundário medem 170 Km.

Tabela 18 . Parâmetros de interpolação em Abril 1971-00.

Método		Outros Parâmetros			
IDW		Valor Optimizado 2.6			
RBF		Valor Optimizado 0.00014			
Spline		Valor Optimizado 0.00014			
Polinomial		Peso 122871.7			
Local		Peso 122871.7			
		Ordem da Remoção de Tendência	Range (Km)	Efeito de Pepita	Patamar
Kriging	Normal	1	170	0.2	0.42
	Universal	1	170	0.1	0.7

O gráfico da figura 45, descreve a regressão entre a entalpia do ar em Outubro e a altitude. O coeficiente de determinação é de 0.83.

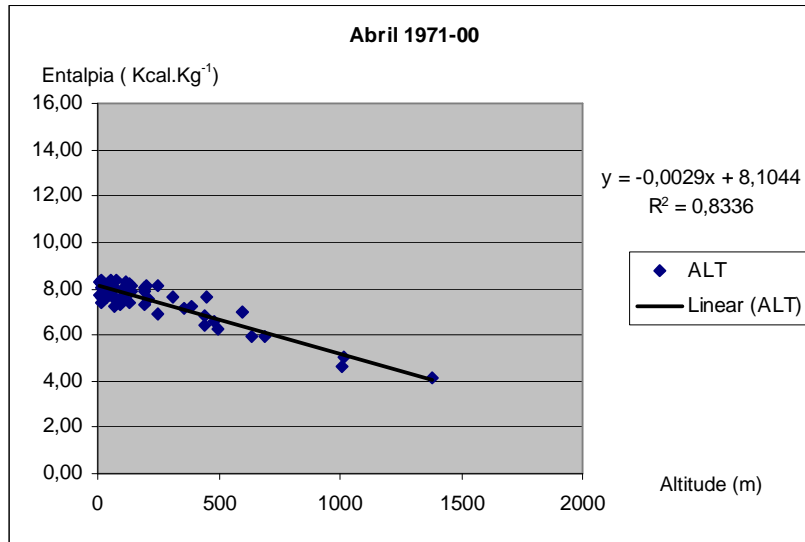


Figura 45 . Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Abril (1971-00).

Em Abril (1971-00), à semelhança dos outros períodos de referência, as classes predominantes de conforto bioclimático são **confortável fresco** (7.5-8.5 Kcal. Kg⁻¹) e **fresco** (6.0-7.5 Kcal. Kg⁻¹), ocupando cerca de 86.5% de Portugal continental.

Aproximadamente 49.1% de todo o território já apresenta sensações confortáveis frescas (7.5-8.5 Kcal. Kg⁻¹). Esta classe encontra-se no Centro e Sul do território, coincidindo com as regiões de menores altitudes e basicamente localizadas no litoral. 37.4 % ocupam uma faixa mais estreita, no sector mais elevado , com uma orientação NW-SE, a que corresponde uma sensação bioclimática de fresco (6.0-7.5 Kcal. Kg⁻¹). Somente 13.4% oferece uma sensação de frio moderado (3.5-6.0 Kcal. Kg⁻¹), sendo que esta zona se localiza nas altitudes elevadas, na área da Serra da Estrela, nas altas montanhas do Gerês e em alguns planaltos do Douro.

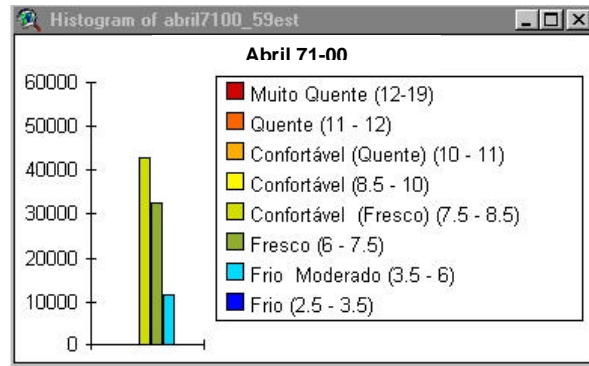


Figura 46 . Histograma do índice de conforto bioclimático em Abril 1971-00.

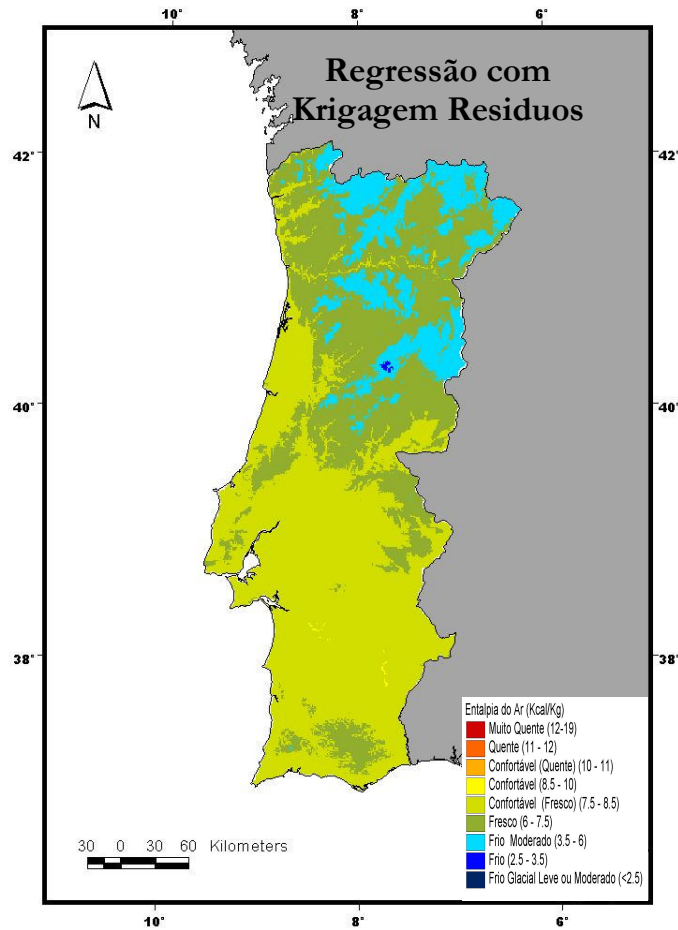


Figura 47 . Índice de conforto bioclimático (1971-00) de Abril- Regressão com Krigagem de resíduos .

Julho

A direcção do eixo maior da elipse para a krigagem no mês de Julho foi 6°, sendo o comprimento do eixo principal de 170 Km e o do eixo secundário de 135 Km.

Os parâmetros utilizados na elaboração dos mapas de estimação da entalpia do ar (Fig. 50) no mês de Julho, encontram-se descritos na tabela 19.

Tabela 19 . Parâmetros de interpolação em Julho 1971-00.

Método		Outros Parâmetros			
IDW		Valor Optimizado 2.3			
RBF		Valor Optimizado 0.000259			
Spline		Valor Optimizado 0.000259			
Polinomial		Peso 637677.3			
Local		Peso 637677.3			
		Ordem da Remoção de Tendência	Range (Km)	Efeito de Pepita	Patamar
Kriging	Normal	1	170	0.3	1
	Universal	1	170	0.2	1.15

O gráfico da figura 48, descreve a regressão entre a entalpia do ar em Julho e a altitude. O coeficiente de determinação é muito baixo, apenas 0.40.

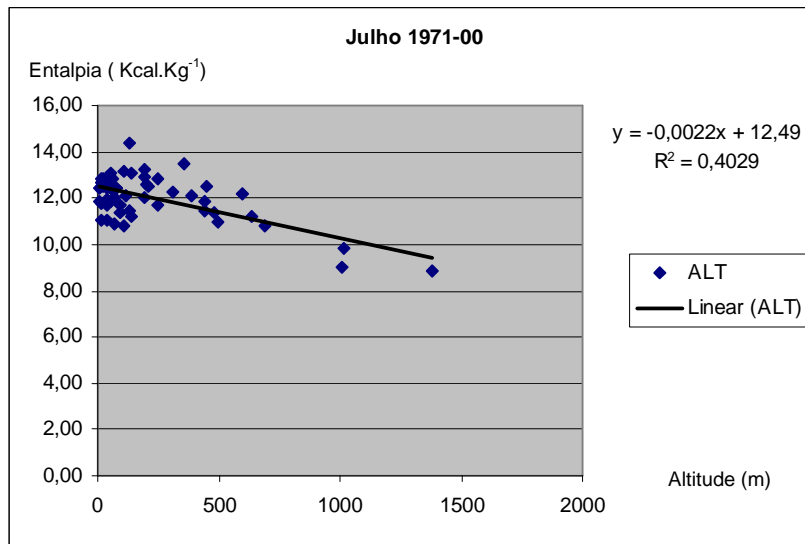


Figura 48 . Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Julho (1971-00).

Em Julho (Fig.50), na normal climatológica 1971-00, diferenciam-se apenas quatro classes de conforto bioclimático: muito quente (12.0-19.0 Kcal.Kg⁻¹), quente (11.0-12.0 Kcal.Kg⁻¹), confortável quente (10.0-11.0 Kcal.Kg⁻¹), e confortável (8.5-10.0 Kcal.Kg⁻¹). Nesta normal climatológica a classe de confortavel fresco não existe (existe na normal 1941-70). À semelhança dos anteriores períodos de referência, este mês surge com o predomínio de sensações **quentes** e **muito quentes**, 98.2% de todo o território apresenta-se nestas condições. Apenas 1.75% do território se encontra numa situação de conforto climático, nomeadamente nas regiões da Serra da Estrela junto à nascente do rio Mondego (a SW do distrito da Guarda) , na margem esquerda do rio Douro (a norte do distrito de Viseu), e no Gerês (a ocidente do distrito de Vila Real). O sotavento do litoral Algarvio, apresenta-se com a classe de conforto muito quente (12.0-19.0 Kcal. Kg⁻¹).

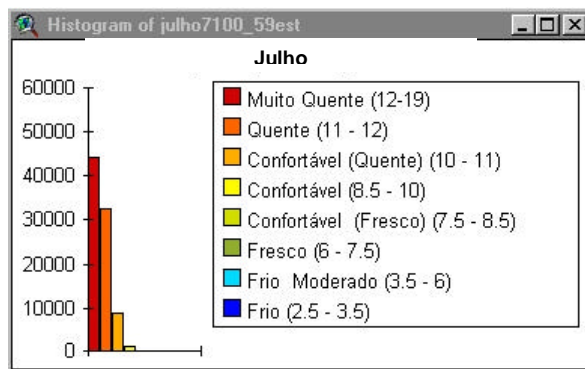


Figura 49. Histograma do índice de conforto bioclimático em Julho 1971-00.

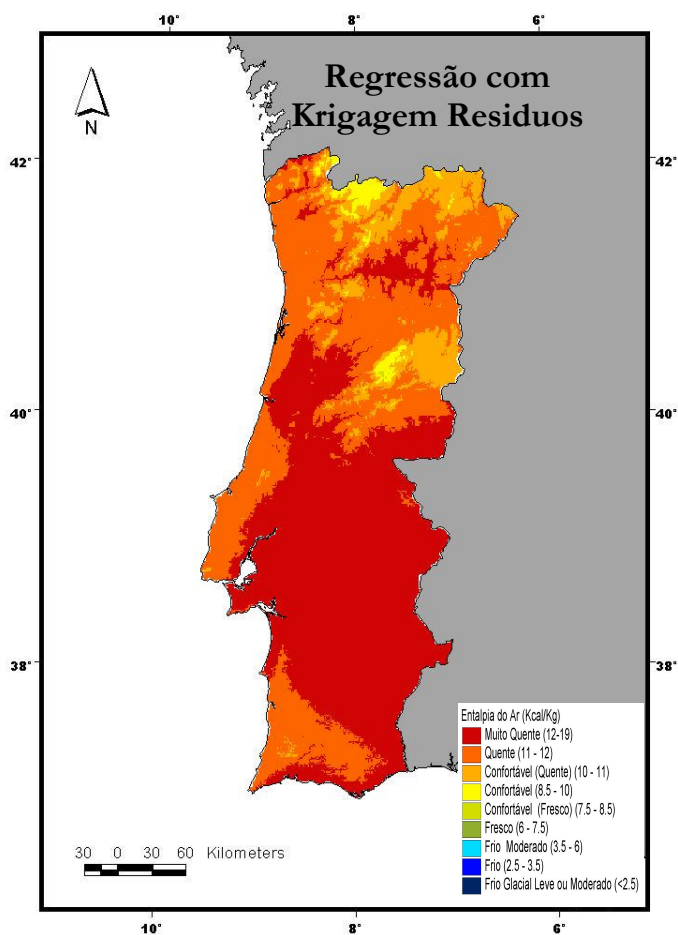


Figura 50 . Índice de conforto bioclimático (1971-00) de Julho - Regressão com Krigagem de resíduos .

Outubro

Em Outubro, a direcção do eixo maior da elipse para a krigagem foi 6°, o eixo principal mede 180 Km e o secundário 135Km.

Os parâmetros de interpolação encontram-se descritos na tabela 21.

Tabela 20. Parâmetros de interpolação em Outubro 1971-00.

Método		Outros Parâmetros			
IDW		Valor Optimizado 2.6			
RBF		Valor Optimizado 0.000187			
Spline		Valor Optimizado 0.000187			
Polinomial		Peso 637793.7			
Local		Peso 637793.7			
		Ordem da Remoção de Tendência	Range (Km)	Efeito de Pepita	Patamar
Kriging	Normal	1	180	0.1	0.75
	Universal	1	180	0.1	0.8

O gráfico da figura 51, descreve a regressão entre a entalpia do ar em Outubro e a altitude. O coeficiente de determinação é 0.78.

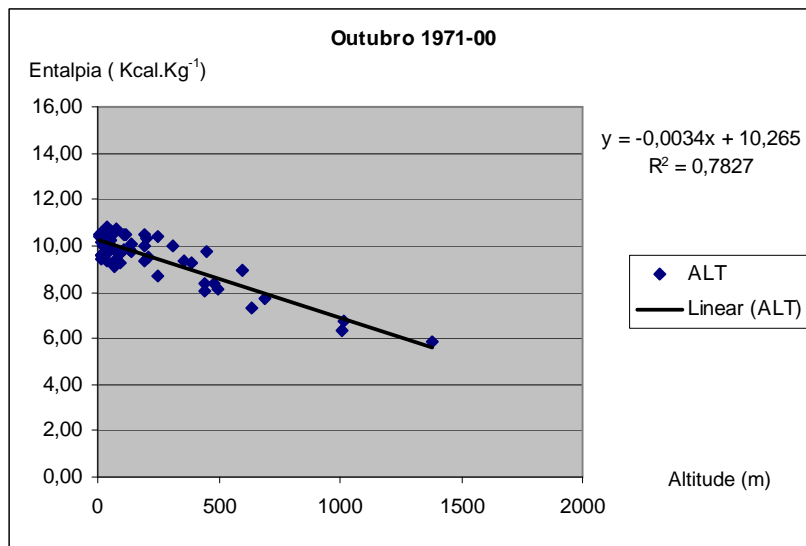


Figura 51. Regressão linear entre os valores do índice bioclimático e a altitude, no mês de Outubro (1971-00).

Em Outubro 1971-00 (Fig.53), a classe de conforto bioclimático predominante continua a ser a da sensação de confortável, que ocupa cerca de 43.9% do território continental. Este mês caracteriza-se pelo predomínio de sensações **confortáveis**, cerca de 89.1 %.

Da mesma forma, as zonas de frio moderado, ocupam uma área estreita que coincide com a Serra da Estrela, nomeadamente na região de Manteigas, e Covilhã, ocupando apenas 0,6% do território continental. Cerca de 10.3 % do território apresenta uma zonagem de sensação fresca.

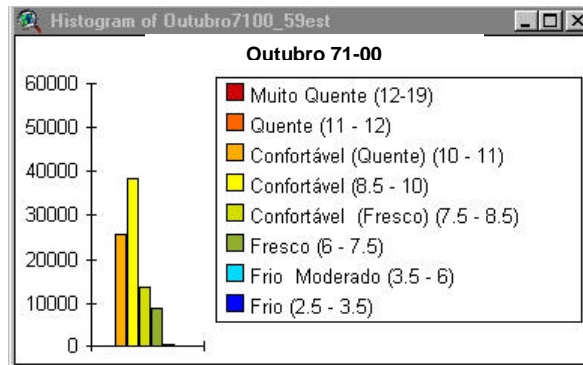


Figura 52 . Histograma do índice de conforto bioclimático em Outubro 1971-00.

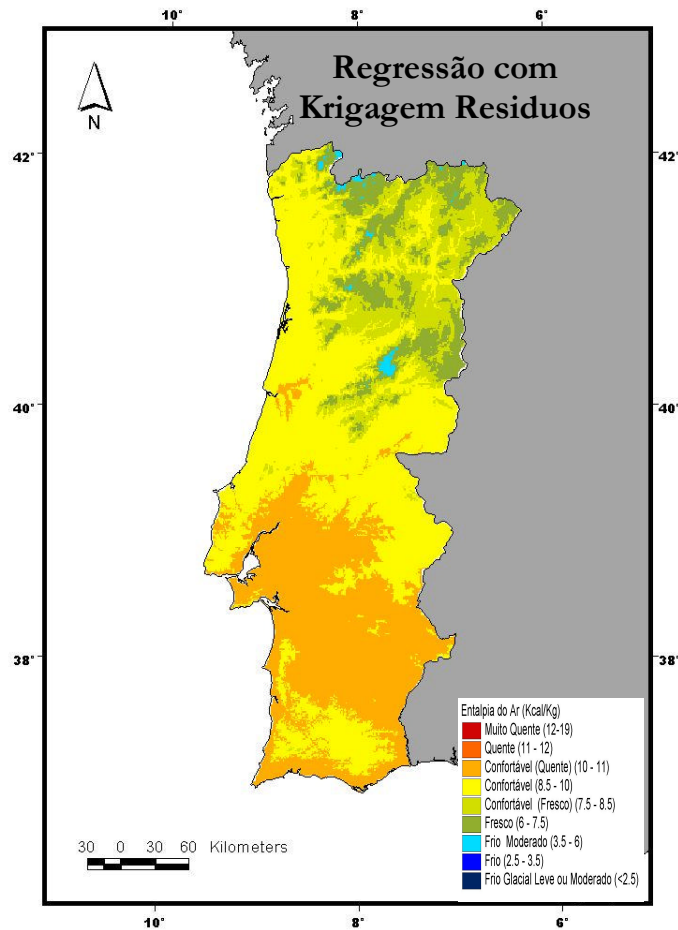


Figura 53. Índice de conforto bioclimático (1971-00) de Outubro - Regressão com Krigagem de resíduos .

Da análise dos mapas da normal 1971-00, e tendo em conta os quadros relativos aos diferentes métodos de interpolação aplicados, podemos constatar o seguinte:

- Pode-se afirmar que a direcção da variabilidade espacial é sempre no mesmo quadrante, ou seja, Nordeste-Sudoeste.
- O range mais elevado é o do mês de Outubro com 180 Km, e menor para o mês de Janeiro com 135 Km. O mês de Outubro, apresenta menor variabilidade espacial.
- Nos métodos geoestatísticos o modelo aplicado a todos os meses foi o modelo esférico.
- O patamar mais elevado é o do mês de Julho (1.15) e o menor o do mês de Janeiro (0.3).As variâncias das previsões no mês de Julho são mais elevadas.
- Os coeficientes de determinação mais elevados são o do mês de Abril (0.83), Outubro (0.78), Janeiro (0.73), respectivamente. O mês de Julho é o que tem menor coeficiente de determinação (0.40).

4.4. Erros de Estimação

A questão “How good are the predictions?”, é referida como mote introdutório para o tema relacionado com os mapas de erro (ESRI,2003), que permitem quantificar a incerteza das previsões.

A complexa topografia de Portugal continental, induz variações de gradientes climáticos locais. As previsões têm sempre um erro associado, pelo que a sua análise deve ser mais cuidada. Segundo Johnston et al (2001), existem duas abordagens distintas para comparar os resultados de diferentes métodos de interpolação: a optimização e a validação. Neste capítulo é feita a comparação dos diferentes modelos de interpolação, apresentando-se no anexo A os valores dos erros para cada modelo aplicado ao conjunto de dados em análise. No anexo B, encontram-se os mapas produzidos no âmbito do estudo do método de interpolação mais adequado.

Na figura 54 apresentam-se, a título ilustrativo, os mapas de erro de estimação ³ do método krigagem normal para a entalpia de Janeiro das três normais: 1941-70, 1961-90 e 1971-00 (caso a distribuição dos valores fosse normal, estes erros poderiam ser encarados como intervalos de confiança). Observe-se que os valores de erro mais baixos se encontram na vizinhança das estações de observação, como é de esperar. As previsões serão mais exactas quanto mais próximo estiverem da estação de observação dos dados.

A normal 1961-90 (86 estações meteorológicas) apresenta erros mais elevados. 57.4 %, apresenta valores de erro superiores a 0.5. Por outro lado, ambas as normais 1941-70 (49 estações meteorológicas) e 1971-00 (57 estações meteorológicas), apresentam erros mais pequenos, cerca de 95.4% e 99% são inferiores a 0.5, respectivamente.

³ Chama-se a atenção para a necessidade de uma rede densa de estações de medição com vista à diminuição dos erros. Futuramente será então de equacionar a instalação de estações meteorológicas nas zonas onde os erros são maiores e que nem sempre corresponde a zonas com menor densidade de cobertura.

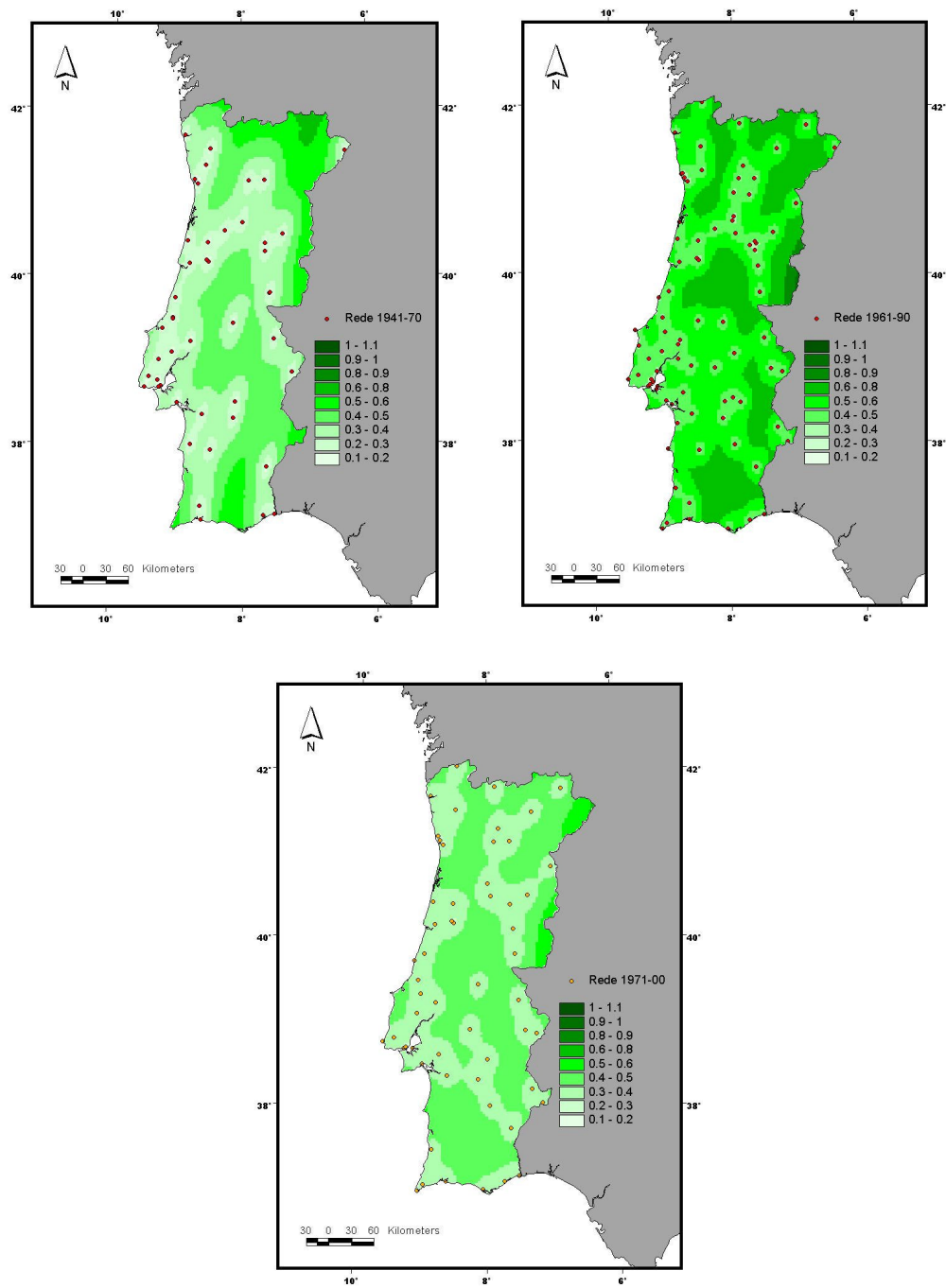


Figura 54 . Erros de estimação no mês de Janeiro (1941-70,1961-90 e 1971-00).

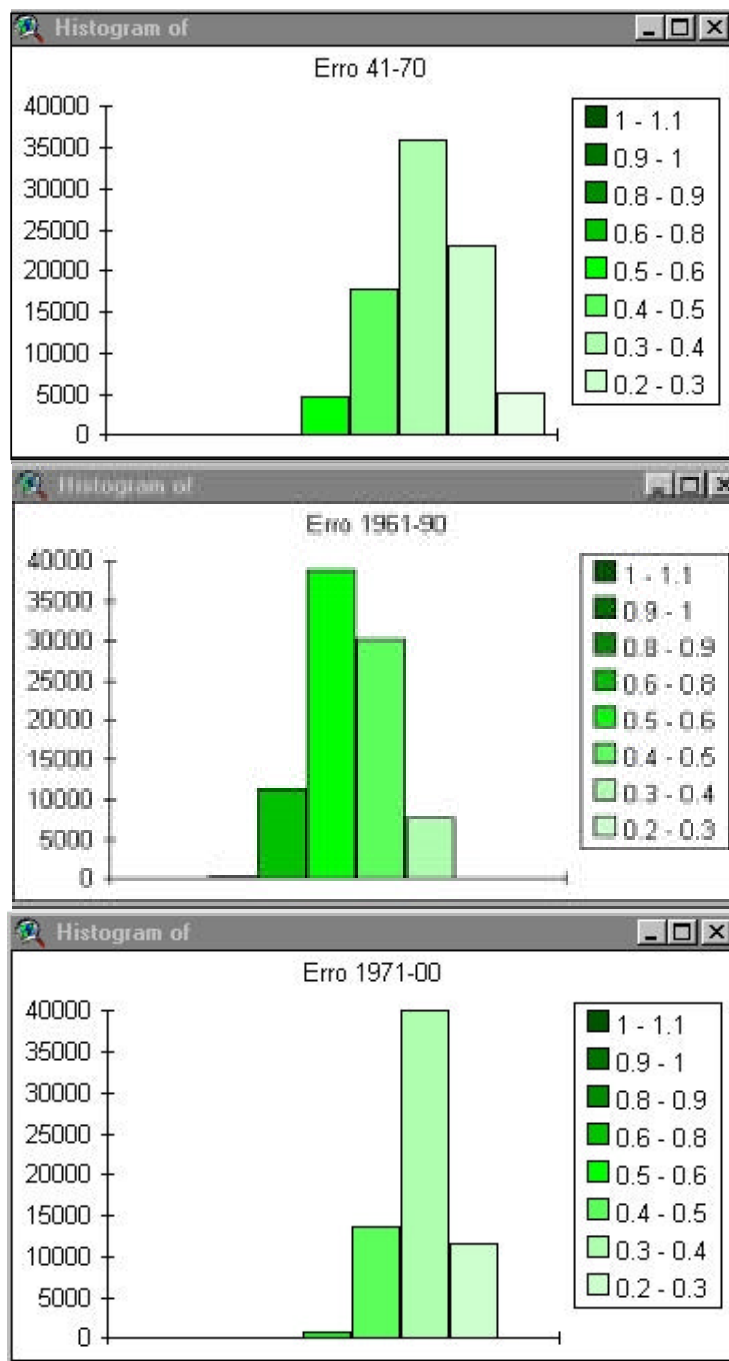


Figura 55. Histogramas dos erros de estimação no mês de Janeiro (1941-70,1961-90 e 1971-00).

Normal 1941-70

Da análise feita ao mês de Janeiro (1941-70), todos os interpoladores apresentam coeficientes de correlação entre os valores observados e previstos muito elevados, 0.95, à exceção do método polinomial local, é o único método que apresenta o coeficiente de pearson mais baixo (0.78).

Os que têm menor erro médio (EM) e mais próximo de zero são o *Radial Basis Function* e o *Inverse Distance Weigh* (-0.01). O método de Kriging universal, apresenta valores iguais da média dos erros relativos (MER) e erro quadrático médio (EQM). O parâmetro (ERQM) tem um valor mais baixo e muito próximo da unidade, é o *ordinary kriging* (1.06).

No mês de Abril (1941-70), o interpolador que apresenta maior coeficiente de correlação é o método determinístico *spline tension* (0.95). Destaca-se também o método geoestatístico universal Kriging com um coeficiente de correlação de 0.82.

O menor erro médio (EM) e mais próximo de zero é o do universal kriging (0.003), figurando também com o erro relativo quadrático médio mais baixo (0.92). Se compararmos a média dos erros relativos (MER) com o erro quadrático médio (EQM), o método *ordinary kriging* é o que se destaca com valores muito próximos. O parâmetro (ERQM) tem um valor muito próximo da unidade em ambos os métodos determinísticos, (0.9 e 1.0).

O mês de Julho da normal 1941-70, apresenta valores de coeficientes de correlação muito baixos em alguns métodos de interpolação. O método que melhor se destaca é o *ordinary kriging* com um coeficiente de correlação de 0.75. Este método apresenta também um erro médio baixo (0.03). Este método geoestatístico revela valores de erro relativo quadrático médio próximos da unidade (1.02) e valores da média dos erros relativos (MER) com o erro quadrático médio (EQM) também não muito distantes.

O mês de Outubro da normal 1941-70, apresenta bons resultados. Os seus coeficientes de correlação são elevados, à exceção do método polinomial local, os seus coeficientes de correlação são superiores a 0.82.

Destacam-se os métodos *spline tension* e universal kriging, cujos valores são 0.84 e 0.82, respectivamente. O erro médio do método determinístico é muito baixo, cerca de -0.02. Neste mês o método universal kriging, figura também com erro relativo quadrático médio de 1.02, muito próximo da unidade.

Em geral, neste período 1941-70, os métodos de interpolação com melhor performance, são o *spline tension* e ambos os métodos de krigagem.

De acordo com os critérios de Johnston a carta que poderá ter a variabilidade de estimação mais bem captada, é a do mês de Abril.

Normal 1961-90

Da análise feita ao mês de Janeiro (1961-90), o interpolador que apresenta menor erro médio (EM) e mais próximo de zero é o Kriging Universal (0.003), o erro quadrático médio mais baixo corresponde ao métodos radial basis function spline tension (0.48) e ordinary kriging (0.48), e quando comparados a média dos erros relativos (MER) com o erro quadrático médio (EQM), o método de kriging universal é o que se destaca com valores muito próximos. Neste método o parâmetro (ERQM) tem um valor muito próximo da unidade, 1.04.

No mês de Abril (1961-90), o interpolador que apresenta menor erro médio (EM) e mais próximo de zero é o radial basis function spline tension (-0.003), figurando também com o erro quadrático médio mais baixo (0.6).

Quando comparados a média dos erros relativos (MER) com o erro quadrático médio (EQM), o método de kriging normal é o que se destaca com valores muito próximos. No método ordinary kriging, o parâmetro ERQM tem um valor mais próximo da unidade, 1.09.

Os meses de Julho (1961-90) e Outubro (1961-90) têm uma estrutura muito semelhante ao mês de Abril. Apenas há que salientar que os valores muito próximos entre a média do erro relativo e o erro quadrático médio são

da mesma ordem de grandeza para o kriging normal e o kriging universal , no mês de Outubro.

Desta forma, e tendo em conta os coeficientes de correlação de Pearson calculados entre os valores estimados e os valores observados, poderá afirmar-se que em todos os meses o método de interpolação mais adequado será no grupo dos determinísticos o radial basis function spline tension, e nos geoestatísticos o kriging normal, à excepção do mês de Janeiro, onde se destaca o método de kriging universal com um coeficiente de correlação de 0.9.

De acordo com os critérios de Johnston a carta que revela melhor variabilidade de estimação é a que diz respeito ao mês de Julho (1961-90), que para o kriging normal o valor de erro relativo quadrático médio (ERQM) é igual a 1.00.

Normal 1971-00

Da análise feita ao mês de Janeiro (1971-00), o interpolador que apresenta menor erro médio (EM) e mais próximo de zero é o ordinary Kriging (0.001), a que corresponde um erro quadrático médio mais baixo (0.42). Quando comparados a média dos erros relativos (MER) com o erro quadrático médio (EQM), o método de kriging universal é o que se destaca com valores muito próximos. Neste método o parâmetro (ERQM) tem um valor muito próximo da unidade, 1.04.

No mês de Abril (1971-00), o interpolador que apresenta menor erro médio (EM) e mais próximo de zero é o ordinary kriging (0.004). Quando comparados a média dos erros relativos (MER) com o erro quadrático médio (EQM), o método de kriging normal é o que se destaca com valores muito próximos. No método ordinary kriging, o parâmetro (ERQM) tem um valor muito próximo da unidade, 1.06.

No mês de Julho (1971-00), destaca-se com melhor performance o método de IDW no grupo dos determinísticos, e o ordinary kriging no grupo dos geoestatísticos. O interpolador que apresenta menor erro médio (EM) e

mais próximo de zero é o Spline Tension (0.01), e o método de krigagem normal apresenta um (ERQM) muito próximo da unidade (1.084).

O mês de Outubro (1971-00) apresenta já melhores resultados. Este mês têm uma estrutura muito semelhante ao mês de Abril. Os melhores coeficientes de correlação dizem respeito aos métodos IDW e ordinary kriging. O erro médio mais baixo diz respeito ao método de krigagem universal (0.0001). O ERQM que está mais próximo da unidade, é o do método kriging normal (1.082).

Desta forma, e tendo em conta o que foi referido anteriormente, poderá afirmar-se que de uma forma geral em todos os meses os métodos de interpolação mais adequados do grupo dos determinísticos será o *radial basis function spline tension*, e dos geoestatísticos o kriging normal. Por vezes os métodos IDW e universal kriging, quase que apresentam resultados semelhantes, pelo que poder-se-á optar ou não pela sua utilização.

O método polinomial local, é o que apresenta menores coeficientes de determinação, maiores EQM e maiores erros médios.

Ao contrário do mês de Janeiro, o mês de Julho, na sua maioria apresenta também os valores de coeficientes de correlação entre os valores estimados e observados mais baixos.

O método seleccionado para a produção cartográfica foi o método de regressão com Krigagem de resíduos. Por um lado, os resultados das cartas de regressão com krigagem de resíduos contribuem para um melhor conhecimento da influencia da altitude, confirmado pelos valores dos coeficientes de determinação. Por outro, a aplicação dos modelos estatísticos de interpolação como o kriging em dados sem estacionariedade, como a entalpia do ar, demonstram que dão resultados pouco realistas. Através da remoção de tendência, a aproximação do kriging residual é mais realista, visto os dados utilizados na interpolação estarem mais próximos da não estacionariedade.

5. Comparação de Cartas do Índice de Conforto Bioclimático no Período 1961-90 Elaboradas com Diferentes Métodos

Neste capítulo, pretende comparar-se as cartas do índice de conforto bioclimático do período 1961-90, elaboradas através de Sistemas de Informação Geográfica, com as cartas do mesmo período, elaboradas manualmente.

Como se pode observar nas figuras 56 e 57, embora existam diferenças, podemos verificar que o zonamento de uma forma geral é muito semelhante.

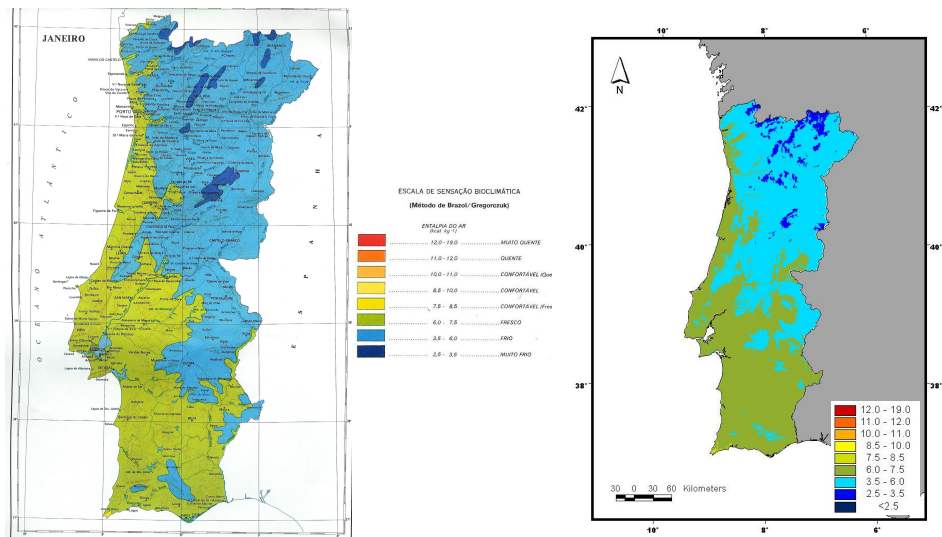


Figura 56. Cartas do índice de conforto bioclimático em Janeiro (1961-90) obtida por interpolação manual e por SIG (regressão com krigagem de resíduos).

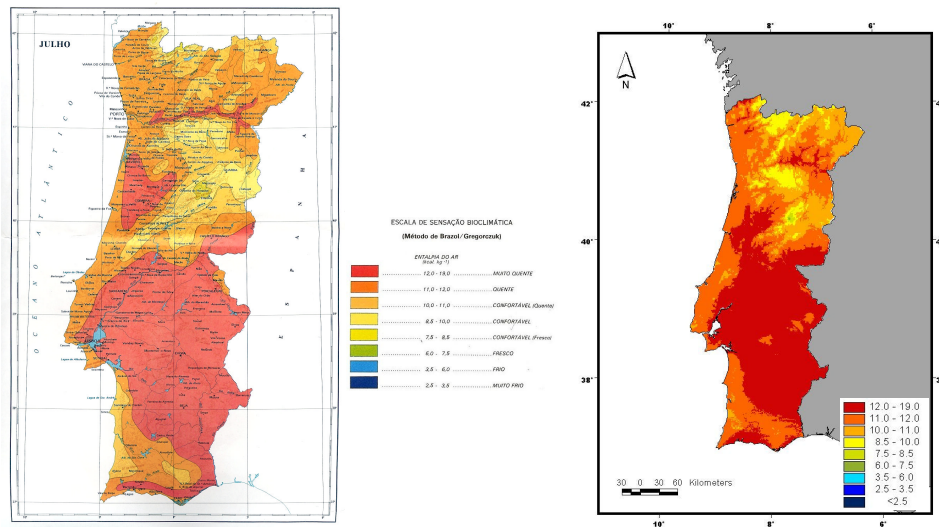


Figura 57. Cartas do índice de conforto bioclimático em Julho (1961-90) obtida por interpolação manual e por SIG.

Através desta comparação são ilustrados os benefícios que advêm da introdução de um Sistema de Informação Geográfica:

- Na organização do dados que podem ser armazenados de uma forma eficiente;
- Na elevada qualidade gráfica e capacidades de animação dos actuais SIG, proporcionando vantagens na visualização dos resultados;
- Na produção de mapas, conseguindo-se uma maior produtividade de investimento e recursos;
- Na consulta e análise espacial.

6. Detecção de Mudança/Evolução Climática

Neste capítulo procede-se à identificação e caracterização da evolução do índice bioclimático. Na secção 6.1 é feita uma comparação temporal do índice de conforto bioclimático, entre as normais climatológicas 1941-70 e 1971-00. Na secção 6.2 são analisadas as tendências do referido índice ao longo dos últimos 40 anos, no período 1961-00.

6.1 Evolução Temporal do Índice de Conforto Bioclimático (1941-1970 e 1971-2000)

Do conjunto das cartas estimadas para o índice de conforto bioclimático, a partir das 31 estações coincidentes para ambos os períodos 1941-70 e 1971-00, verifica-se que, no mês de Janeiro a classe de conforto frio ($2.5-3.5 \text{ kcal Kg}^{-1}$) e frio moderado ($3.5-6.0 \text{ kcal Kg}^{-1}$) reduziram a sua extensão em 1.9 e 1%, respectivamente; a classe de conforto bioclimático fresco ($6.0-7.5 \text{ kcal Kg}^{-1}$) aumentou a sua extensão em cerca de 3% (figura 58 e 59).

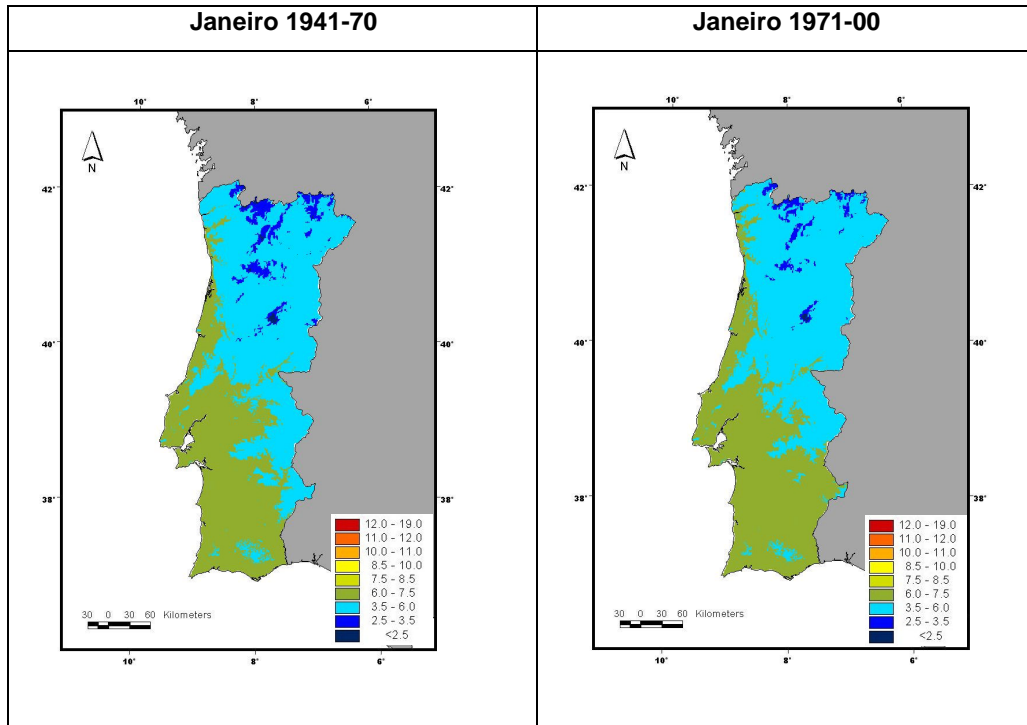


Figura 58 . Índice de conforto bioclimático em Janeiro (1941-70 e 1971-00).

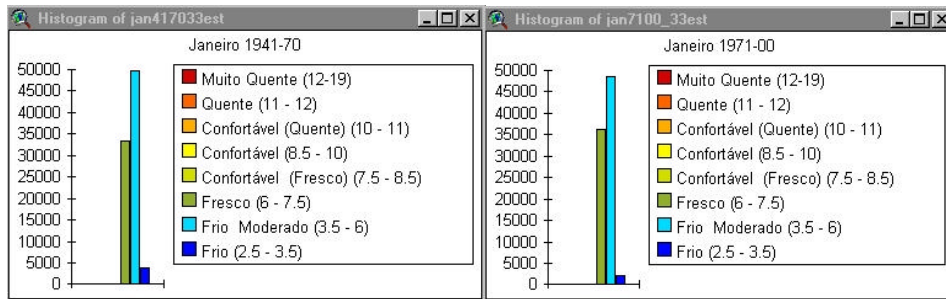


Figura 59 . Histogramas do índice de conforto bioclimático em Janeiro (1941-70 e 1971-00).

Pelo contrário, no mês de Abril (figura 60), as diferenças entre os dois períodos consistem basicamente no desaparecimento da classe de conforto bioclimático confortável ($8.5-10.0 \text{ Kcal.Kg}^{-1}$) da normal 1941-70 para a normal 1971-00. A classe de conforto fresco, reduziu a sua extensão cerca de 1%. Ambas as classes de fresco ($7.5-8.5 \text{ kcal Kg}^{-1}$) e frio moderado ($3.5-6.0 \text{ kcal Kg}^{-1}$) sofreram uma expansão.

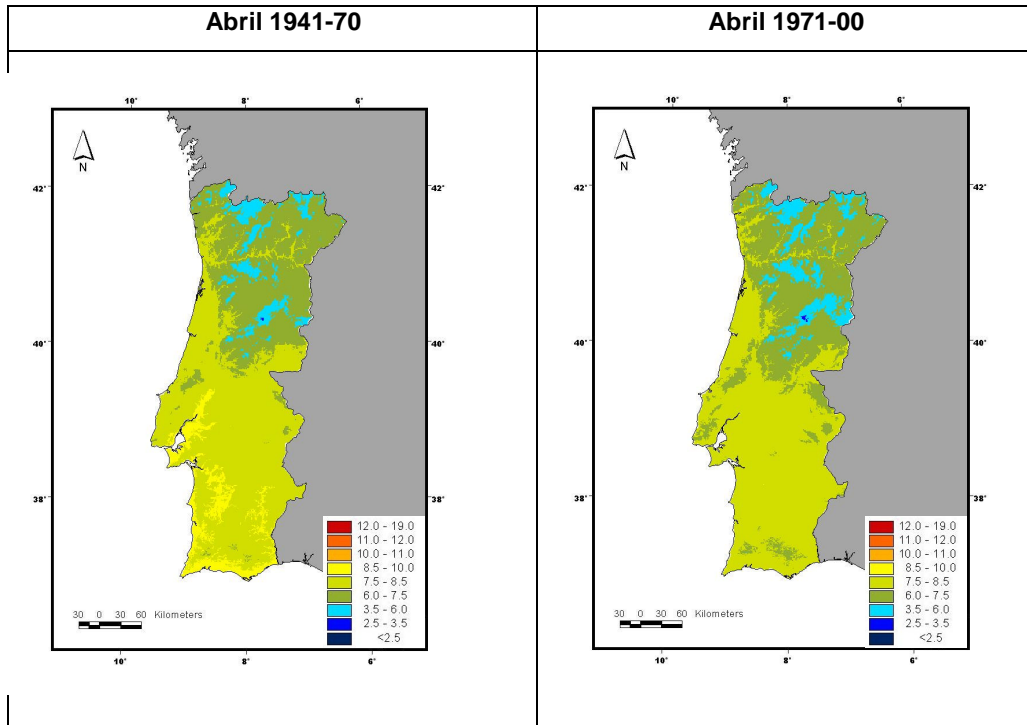


Figura 60. Índice de conforto bioclimático em Abril (1941-70 e 1971-00).

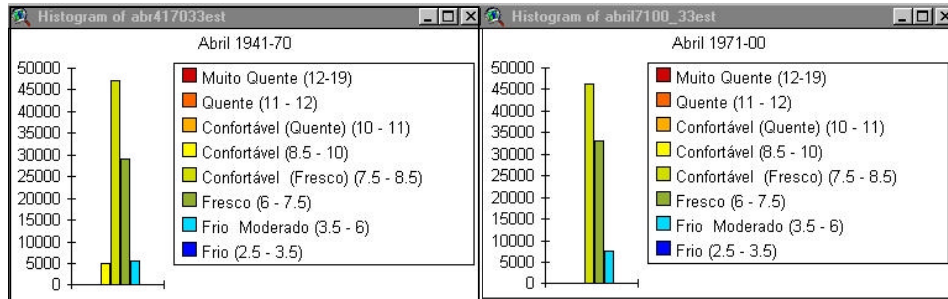


Figura 61. Histogramas do índice de conforto bioclimático em Abril (1941-70 e 1971-00).

No mês de Julho (Fig. 62), destaca-se a migração da classe de conforto bioclimático muito quente ($12.0-19.0 \text{ kcal Kg}^{-1}$), em direcção ao Norte, e a sua expansão na região de Trás-os-Montes. A classe confortável ($8.5-10.0 \text{ kcal Kg}^{-1}$) deixou de existir no litoral Minhoto.

O centro do país sofreu uma passagem da situação de índice bioclimático quente ($11.0-12.0 \text{ kcal Kg}^{-1}$) para muito quente ($12.0-19.0 \text{ kcal Kg}^{-1}$), que migrou para Norte do Rio Tejo.

A classe muito quente ($12.0-19.0 \text{ kcal Kg}^{-1}$), sofreu uma expansão de 17.7%. Todas as outras classes sofreram reduções na sua área, nomeadamente a sensação quente ($11.0-12.0 \text{ kcal Kg}^{-1}$) sofreu um decréscimo de 3.2%, a sensação confortável quente ($10.0-11.0 \text{ kcal Kg}^{-1}$), com um decréscimo de 11.2%, a sensação confortável ($8.5-10.0 \text{ kcal Kg}^{-1}$) um decréscimo de 1.8% e a sensação confortável fresco ($7.5-8.5 \text{ kcal Kg}^{-1}$), um decréscimo de apenas 0.1%.

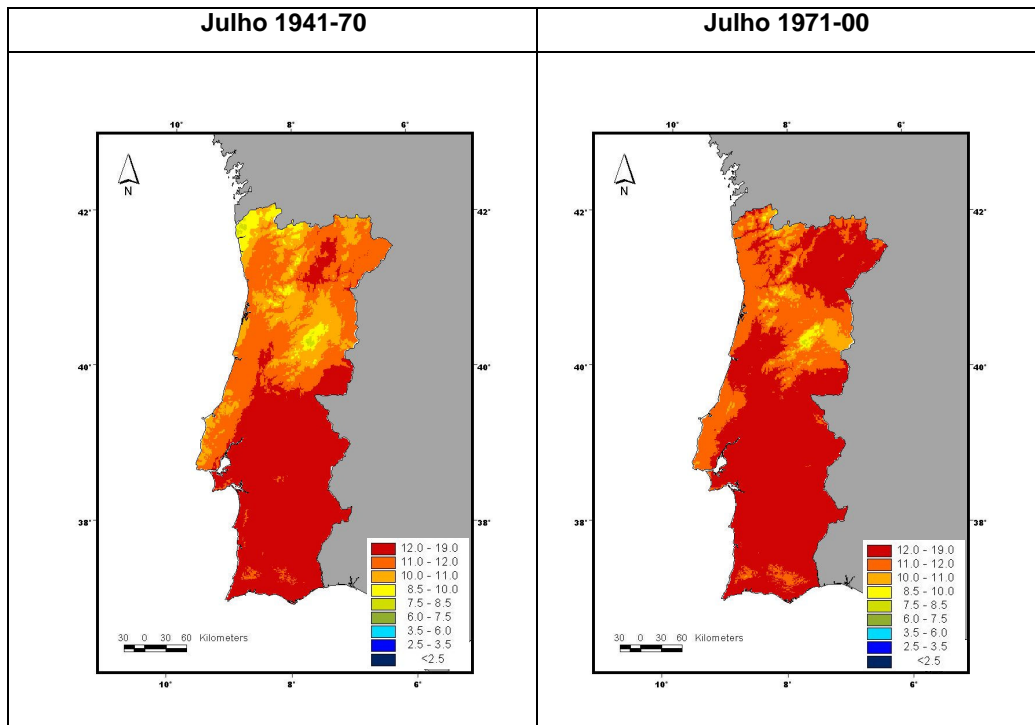


Figura 62 . Índice de conforto bioclimático em Julho (1941-70 e 1971-00).

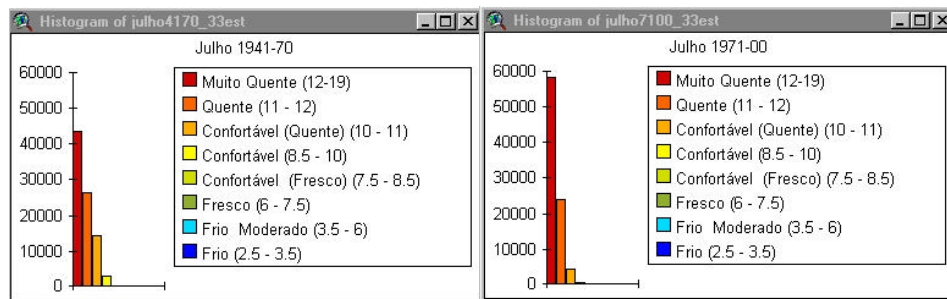


Figura 63 .Histogramas do índice de conforto bioclimático em Julho (1941-70 e 1971-00).

Quando se observam as cartas do mês de Outubro, na figura 64, entre os dois períodos normais 1941-70 e 1971-00, sobressai o facto de todo o Sul do país ter sofrido uma regressão da classe de confortável quente ($10.0 - 11.0 \text{ kcal Kg}^{-1}$), em prejuízo da expansão da classe de confortável ($8.5-10.0 \text{ kcal Kg}^{-1}$).

Nota-se também no período 1941-70, maior predominância da classe de frio moderado no Norte e Centro do país, e a existência ainda que residual da classe frio glacial moderado ($<2.5 \text{ kcal Kg}^{-1}$), apenas na região da Serra da Estrela.

As classes confortável e confortável fresco sofreram uma expansão entre 1941-70 e 1971-00. O aumento mais significativo ocorreu na classe confortável ($8.5-10.0 \text{ kcal Kg}^{-1}$), com um acréscimo de 4.8 %.

A classe confortável quente regrediu cerca de 5.4%. Ambas as classes fresco e frio moderado, sofreram decréscimo da sua área em cerca de 0.1 e 0.34 %, respectivamente.

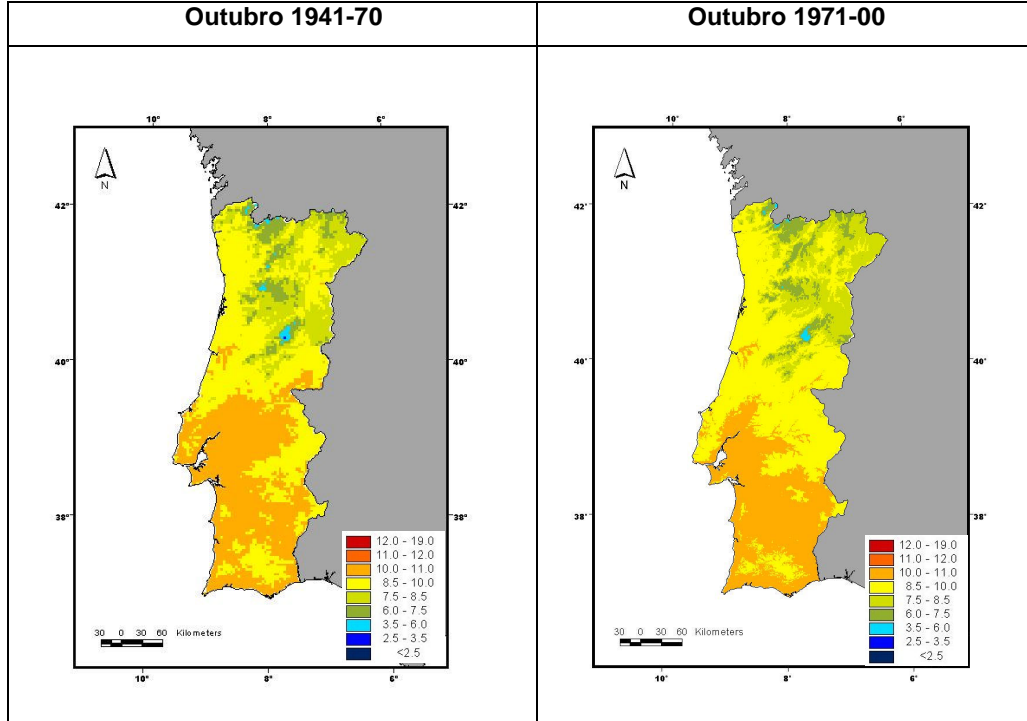


Figura 64 . Índice de conforto bioclimático em Outubro (1941-70 e 1971-00).

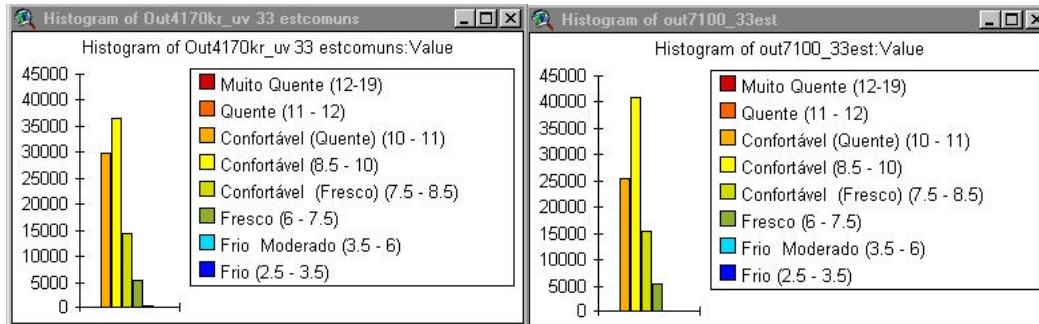


Figura 65 .Histogramas do índice de conforto bioclimático em Outubro (1941-70 e 1971-00).

6.1.1 Diferenças das Variáveis Climáticas Temperatura Média, Humidade Relativa às 9:00 TU e Entalpia do Ar

Neste trabalho optou-se por aplicar o teste t-student (ver anexo D) às variáveis climáticas: entalpia, temperatura média e humidade relativa do ar às 9:00 TU, com o objectivo de comparar as médias em cada estação meteorológica. Foram estudadas populações distintas (ver Anexo C), que dizem respeito aos valores médios das duas normais climatológicas (1941-70 e 1971-00). Os resultados obtidos encontram-se na tabela 21.

Tabela 21 . *T-student* 1941-70 e 1971-00, em 31 estações climatológicas.

		Período	Média	Desvio Padrão	Df	ΔT	P
Janeiro	Entalpia	1941-70	5.89	0.96	60	-0.12	0.9
		1971-00	5.92	0.87			
	Temperatura Média	1941-70	9.04	1.95	60	+0.06	0.95
		1971-00	9.01	1.79			
	Humidade Relativa 9: 00 TU	1941-70	85.45	3.35	60	-1.27	0.20
		1971-00	86.54	3.4			
Abril	Entalpia	1941-70	7.78	0.95	60	+0.85	0.39
		1971-00	7.58	0.92			
	Temperatura Média	1941-70	14.02	1.87	60	+1.47	0.15
		1971-00	13.31	1.89			
	Humidade Relativa 9: 00 TU	1941-70	72.8	3.42	60	-3.42	0.001
		1971-00	75.7	3.24			
Julho	Entalpia	1941-70	11.71	1.17	60	-1.7	0.09
		1971-00	12.18	1.02			
	Temperatura Média	1941-70	21.74	2.03	60	-0.64	0.52
		1971-00	22.06	1.89			
	Humidade Relativa 9: 00 TU	1941-70	65.9	7.78	60	-1.43	0.15
		1971-00	68.8	8.1			
Outubro	Entalpia	1941-70	9.69	1.19	60	+0.2	0.83
		1971-00	9.63	1.04			
	Temperatura Média	1941-70	16.85	1.82	60	+1.1	0.68
		1971-00	16.3	1.85			
	Humidade Relativa 9: 00 TU	1941-70	78.12	3.84	60	-3.06	0.003
		1971-00	81.25	4.19			

Da observação da tabela dos resultados do t-student, e tendo em atenção que a hipótese nula nega a alteração das variáveis entre o período 1941-70 e 1971-00, enquanto que a hipótese alternativa atesta a alteração significativa das médias entre as duas normais climatológicas, podemos concluir que entre a normal 1941-70 e 1971-00:

- A hipótese nula do teste t-student para a entalpia é aceite a um nível de significância de $p \leq 0.05$ para todos os meses estudados.
- Nos meses de Abril e Outubro ocorreu um decréscimo da entalpia de cerca de 0.85 e 0.2 Kcl.Kg⁻¹, respectivamente, os restantes meses demonstram aumento de entalpia entre a normal 1941-70 e 1971-00. Contudo os valores médios das normais da entalpia não apresentam estatisticamente diferença significativa.
- A hipótese nula do teste t-student para a temperatura média do ar é aceite a um nível de significância de $p \leq 0.05$, para todos os meses estudados.
- À excepção do mês de Julho, onde ocorreu um acréscimo da temperatura média do ar de 0.64 °C, todos os meses denotam diminuição de temperatura média do ar entre a normal 1941-70 e 1971-00. Contudo os valores médios das normais da temperatura do ar não apresentam estatisticamente tendência significativa.
- A hipótese nula do teste t-student para a humidade relativa do ar às 9:00 TU é rejeitada a um nível de significância de $p \leq 0.05$, para os meses de Abril e Outubro, o que revela uma tendência positiva significativa entre as duas normais climatológicas estudadas. Os valores médios de humidade relativa do ar às 9:00 horas TU, no mês de Abril e Outubro, sofreram um acréscimo em termos percentuais superiores a 3%, entre a normal 1941-70 e 1971-00.

- A hipótese nula do teste t-student para os valores médios de humidade relativa do ar às 9:00 TU é aceite a um nível de significância de $p \leq 0.05$, para os meses de Janeiro e Julho.

Embora as cartas estimadas para os dois períodos climatológicos 1941-70 e 1971-00, apresentem diferenças espaciais do índice de conforto bioclimático, como analisado em 6.1, sómente através da aplicação dos testes de hipóteses às médias se consegue decidir com um certo grau de confiança, a existência ou não de alteração das diferentes variáveis naqueles períodos.

Desta forma, as cartas elaboradas na secção 6.1, permitem apenas visualizar a distribuição espacial do índice de conforto bioclimático. Contudo, a interpretação da sua evolução no tempo pode ser feita com cuidado, uma vez que não se aceita estatisticamente a diferença do índice de conforto bioclimático em qualquer dos meses estudados.

A constatação dos resultados obtidos com o teste *t-student*, relativamente à temperatura média do ar, à humidade relativa do ar às 9:00 T.U. e ao índice de conforto bioclimático, são corroboradas quando procedemos à espacialização das diferenças destas variáveis para os dois períodos 1971-00, 1941-70 (ver Anexo H).

6.2 Análise de Tendência do Índice de Conforto Bioclimático no Período 1961-2000

Uma vez avaliadas as diferenças entre as séries climatológicas, traduzindo dois períodos distintos, adoptou-se uma análise que considerasse uma série de dados completa por forma a avaliar a existência de tendência, ao longo de 40 anos (1961-2000) que se apresenta na secção seguinte. Nesta secção as tendências do índice de conforto bioclimático são analisadas através de regressão linear. Para analisar as tendências espaço-temporais das condições do índice de conforto bioclimático, foram coligidos dados de temperatura média do ar e humidade atmosférica do ar às 9:00 horas mensais num período de 40 anos consecutivos, 1961-2000. No total obtiveram-se dados para 38 estações climatológicas.

Numa primeira fase, teve-se por objectivo analisar a distribuição espacial do índice de conforto bioclimático, em cada uma das 4 décadas, as médias do índice bioclimático foram calculadas por década em cada estação climatológica, valores esses posteriormente interpolados *através do método spline tension*. O resultado obtido pode ser observado nas cartas das figuras 66 a 69.

O mês de Janeiro (Fig.66) é de todos, o que apresenta menor variabilidade. No barlavento Algarvio os valores do índice de conforto bioclimático eram mais elevados na década de 61-70 (confortável fresco), relativamente às décadas posteriores (fresco).

No mês de Abril (Fig.67), a década de 91-00, apresenta maior variabilidade. A evolução poderá ser positiva, os valores do índice de conforto bioclimático aumentaram no Alentejo, passaram de uma sensação de confortável fresco, para uma sensação quente .

O mês de Julho (Fig. 68), revela um progressivo acréscimo dos valores do índice de conforto bioclimático, de década para década. A evolução deste mês caracteriza uma passagem dos valores médios do índice de conforto bioclimático de quente, para muito quente.

O mês de Outubro (Fig.69), sofreu um decréscimo dos valores do índice de conforto bioclimático entre as décadas de 61-70 e 71-80, e entre a década de 81-90 e 91-00. Da década de 71-80 para a década de 81-90 a situação inverteu-se, e passou a registar aumento dos valores do índice de conforto bioclimático.

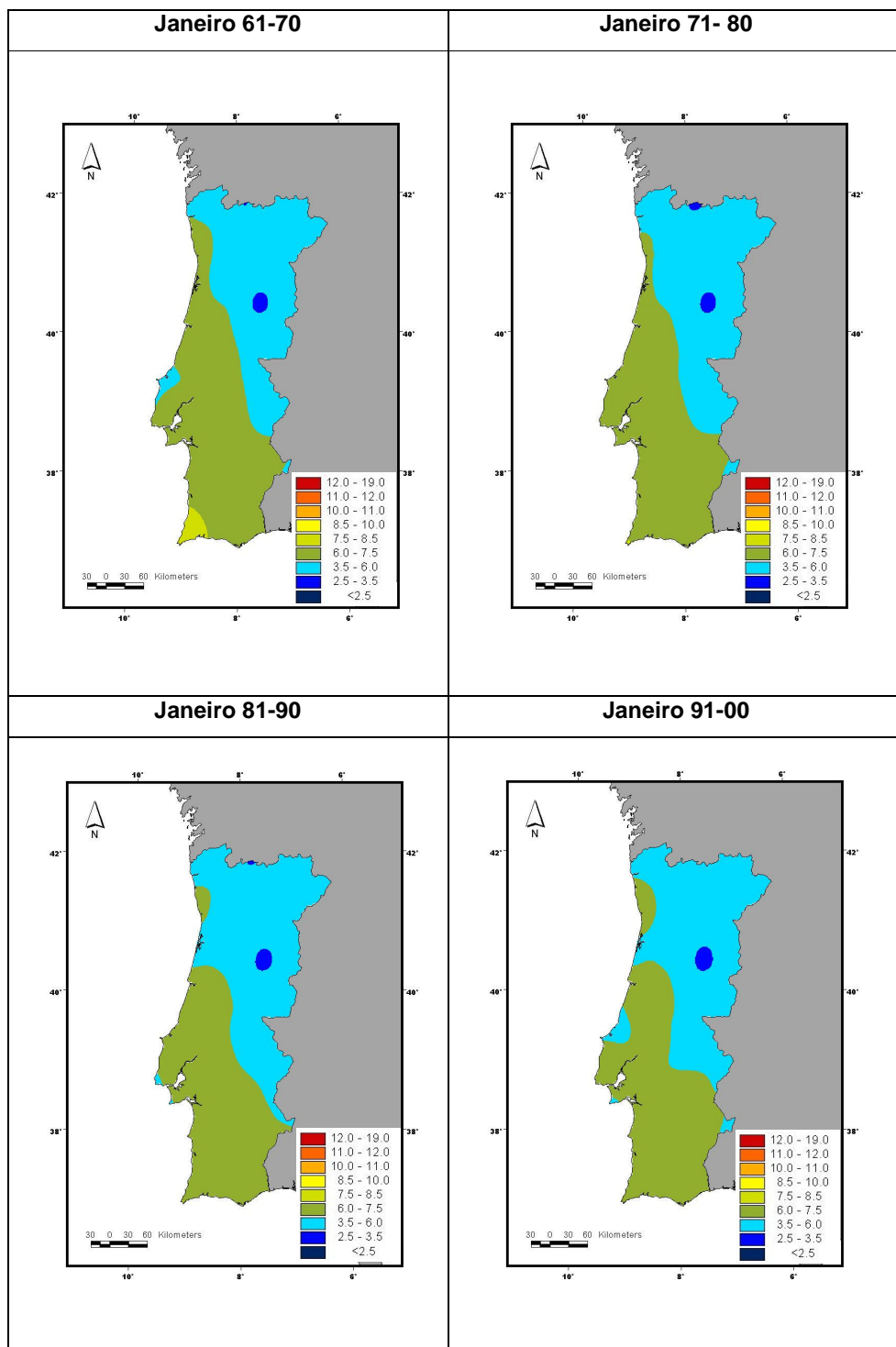


Figura 66 . Índice de conforto bioclimático em Janeiro para as 4 décadas.

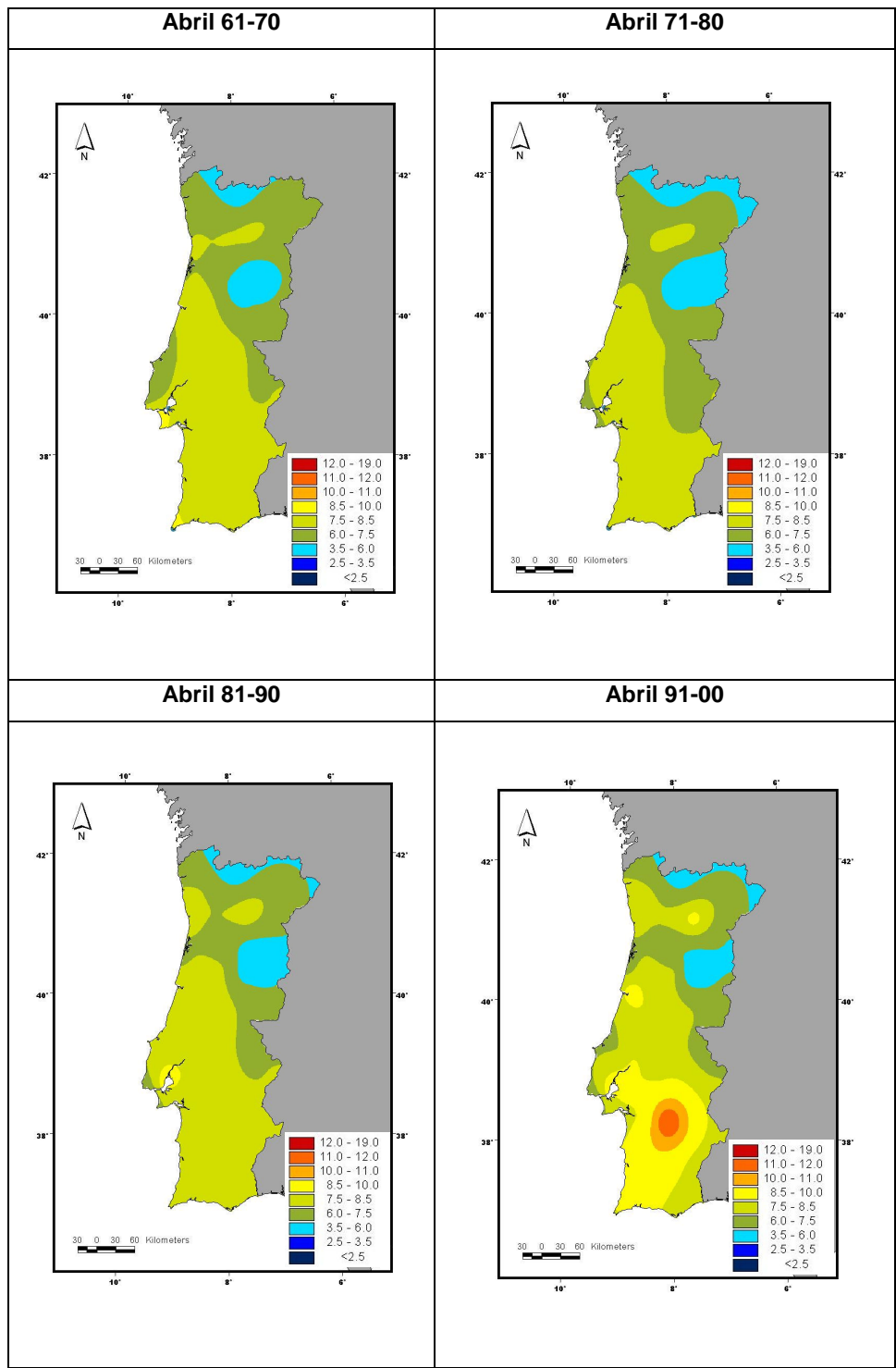


Figura 67 . Índice de conforto bioclimático em Abril para as 4 décadas.

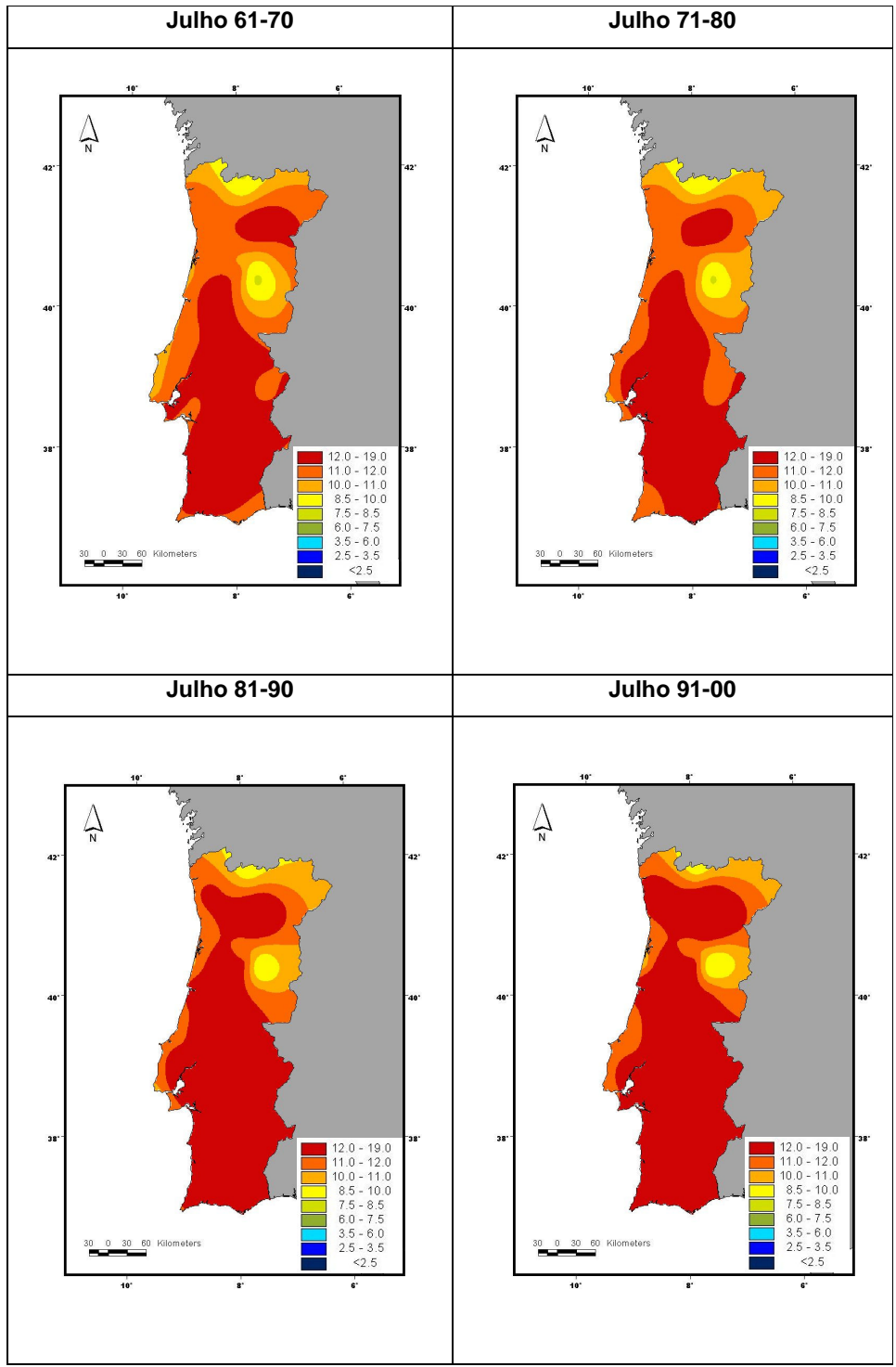


Figura 68 . Índice de conforto bioclimático em Julho para as 4 décadas.

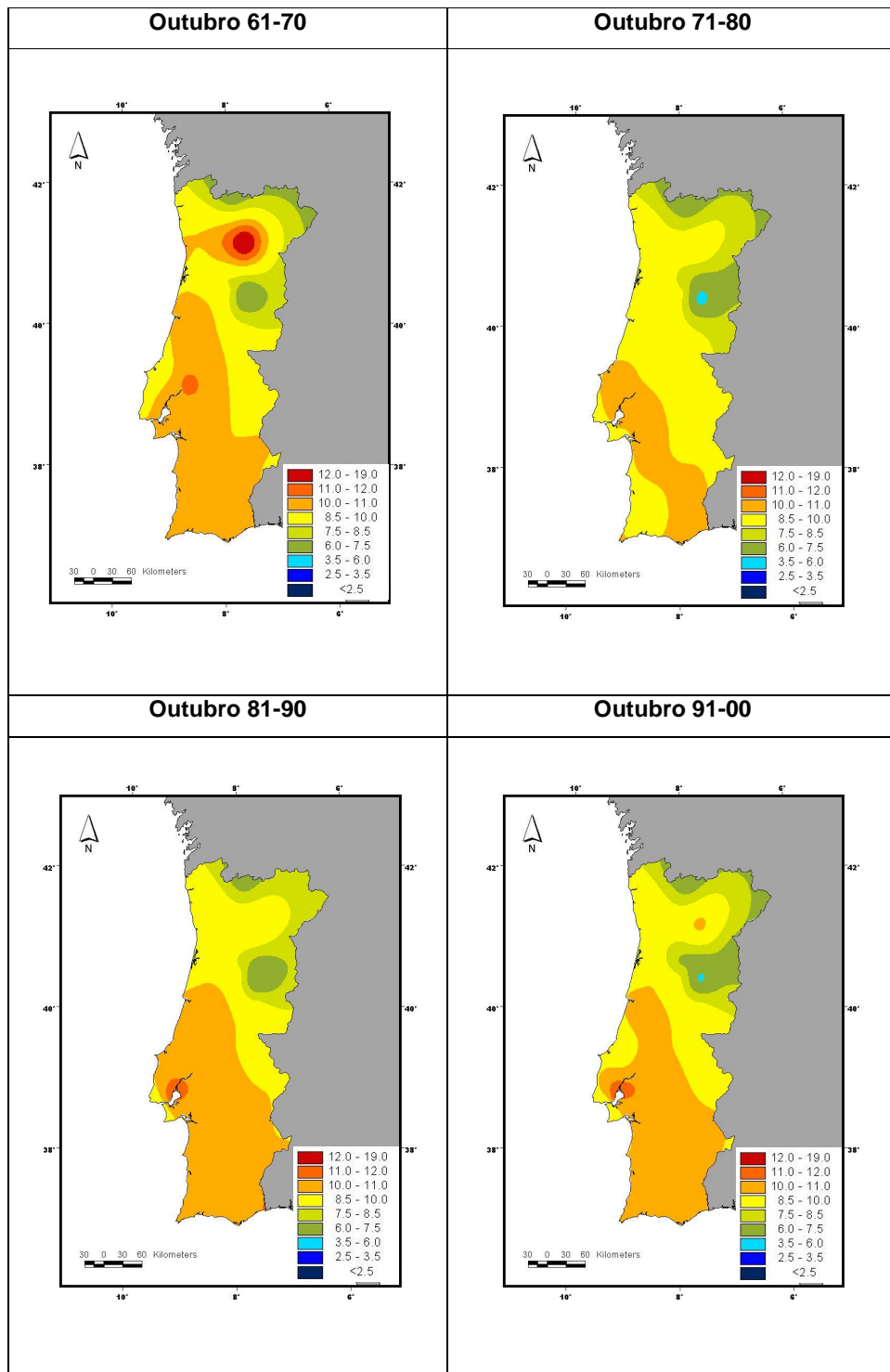


Figura 69 . Índice de conforto bioclimático em Outubro para as 4 décadas.

Numa segunda fase, estudou-se o período referido (1961-2000), através de regressão linear entre os valores de entalpia do ar e o tempo. Os mapas da figura 70, indicam as tendências mensais do índice bioclimático, ao longo de 40 anos, entre 1961 e 2000. A tendência é definida aqui como o declive da regressão linear dos valores do índice bioclimático, ao longo dos 40 anos, em unidades de Kcal.Kg^{-1} , por ano. Primeiro, foi ajustada uma recta aos valores médios anuais do índice de conforto bioclimático, para cada estação meteorológica, obtendo-se uma tendência linear ajustada para os 40 anos (Fig. 72). Uma vez que os valores de declive não apresentam grandes variações anuais (-0.02 e 0.1 Kcal.Kg^{-1}), optou-se pelo método de interpolação *spline tension*. Posteriormente foram elaborados os mapas referentes à evolução da entalpia do ar, por década. O método é semelhante, contudo em termos cartográficos estes são mais expressivos (Fig.70).

Janeiro e Outubro apresentam tendências de diminuição, enquanto os meses de Primavera e Verão demonstram uma tendência para um aumento do índice bioclimático.

O mês de Janeiro (Fig. 70) é aquele que figura com menores oscilações do índice bioclimático. Estas não excedem as $0.25 \text{ Kcal.Kg}^{-1}$ por década, e são na maioria do território continental negativas, exceptuando nas áreas a Norte de Lisboa, no grande Porto, e em áreas próximas de Évora e Beja, onde são positivas.

No mês de Abril (Fig. 70), destacam-se as regiões da Beira Alta e Alentejo com tendências positivas do índice bioclimático. Nestas regiões, os valores atingem já um acréscimo superior a $1.00 \text{ Kcal.Kg}^{-1}$ por década. Apenas o litoral da Grande Lisboa e península de Setúbal, a região de Aveiro e uma faixa no interior Norte de Portugal apresentam tendência de decréscimo de cerca de $0.25 \text{ Kcal.Kg}^{-1}$ por década.

No mês de Julho (Fig. 70), destaca-se o litoral norte com uma tendência positiva mais acentuada do índice bioclimático. O Alentejo apresenta

também uma tendência positiva embora com valores que não ultrapassam $0.25 \text{ Kcal.Kg}^{-1}$, por década.

Outubro (Fig. 70) na sua maioria apresenta uma tendência negativa em todo o território continental, destacando-se a região de Trás-os-Montes com decréscimos superiores do índice bioclimático, que poderão atingir as 1.0 Kcal.Kg^{-1} , em dez anos.

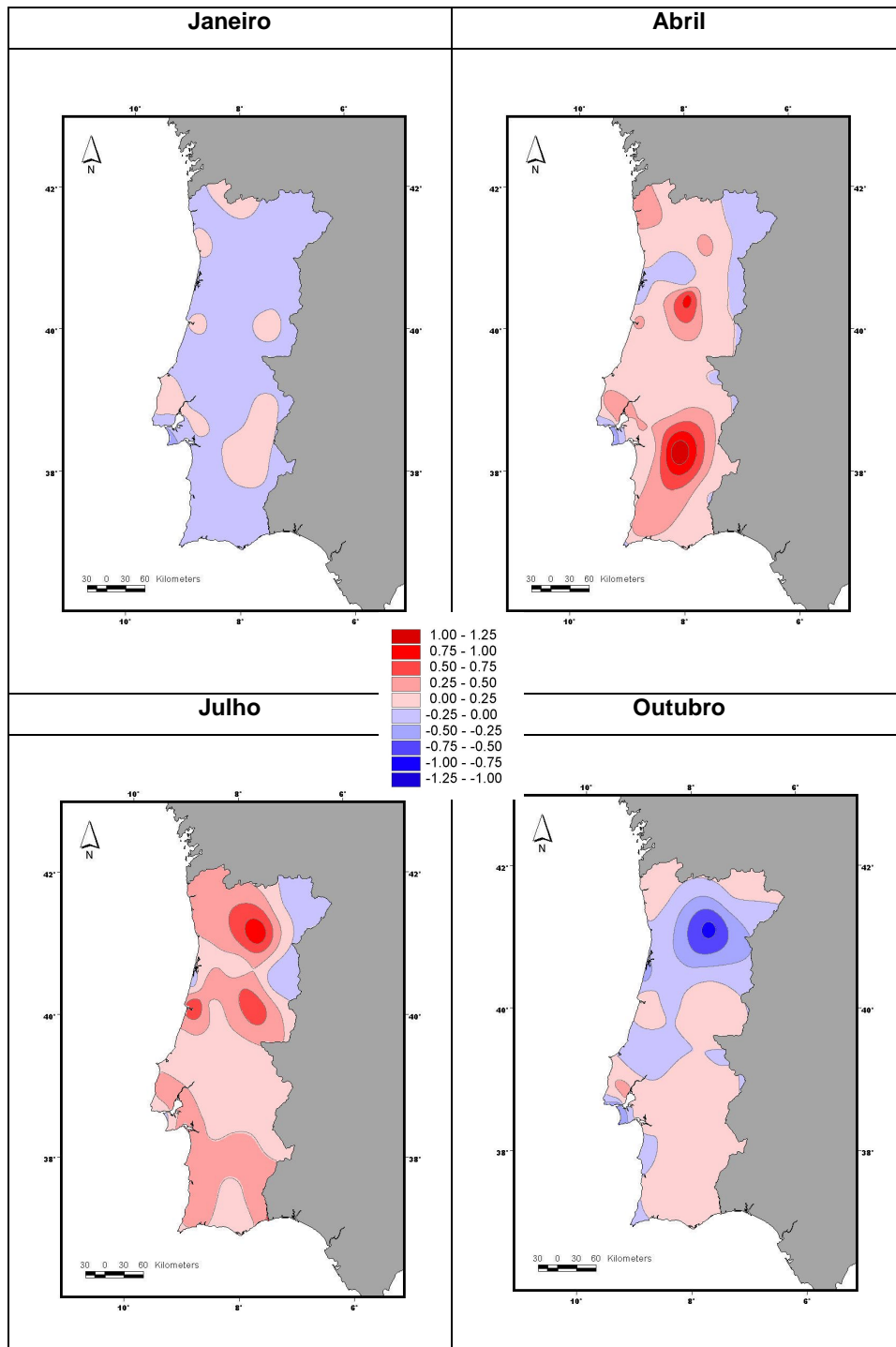


Figura 70 . Tendência por década do índice de conforto bioclimático nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, no período 1961-2000.

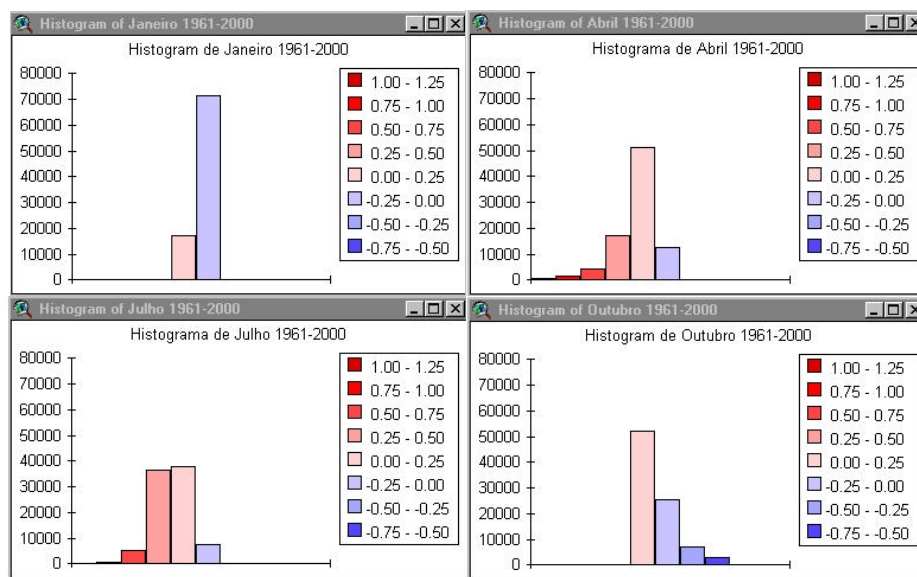


Figura 71 . Histogramas dos valores de declive da recta da regressão, por década, do índice de conforto bioclimático (1961-2000).

Como se pode observar nos histogramas das cartas de tendência mensal por década do índice de conforto bioclimático (Fig. 71), o mês de Janeiro destaca-se com predominância em todo o território continental para tendência de decréscimo entre 0.0—0.25 Kcal.Kg⁻¹, dos valores da entalpia do ar (80%).

Nos restantes meses, a maioria do território, apresenta já tendência positiva do índice de conforto bioclimático.

Assim, Outubro figura com 58.8% do território de Portugal continental com uma ligeira tendência positiva (0.0-0.25), e cerca de 41% com tendência negativa.

Em Abril, as classes de tendência positiva do índice bioclimático ocupam já 85.8% do território continental, e apenas 14.2 % apresenta tendência negativa (0.0—0.25 Kcal.Kg⁻¹).

O mês de Julho é sem dúvida o que se destaca dos restantes, pela nítida predominância, quer em termos quantitativos, quer em termos qualitativos das classes de tendência de aumento do índice bioclimático. Cerca de 91.2 % do território continental apresenta tendência para aumento do índice de

conforto bioclimático, e apenas 8.7 % apresenta tendência para decréscimo do índice bioclimático.

A análise de regressão, permite quantificar a variabilidade temporal do índice de conforto bioclimático para o período de tempo estudado, e estações meteorológicas consideradas. A título ilustrativo optou-se por representar na figura 72, os mapas das tendências anuais do índice de conforto bioclimático nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, no período 1961-2000.

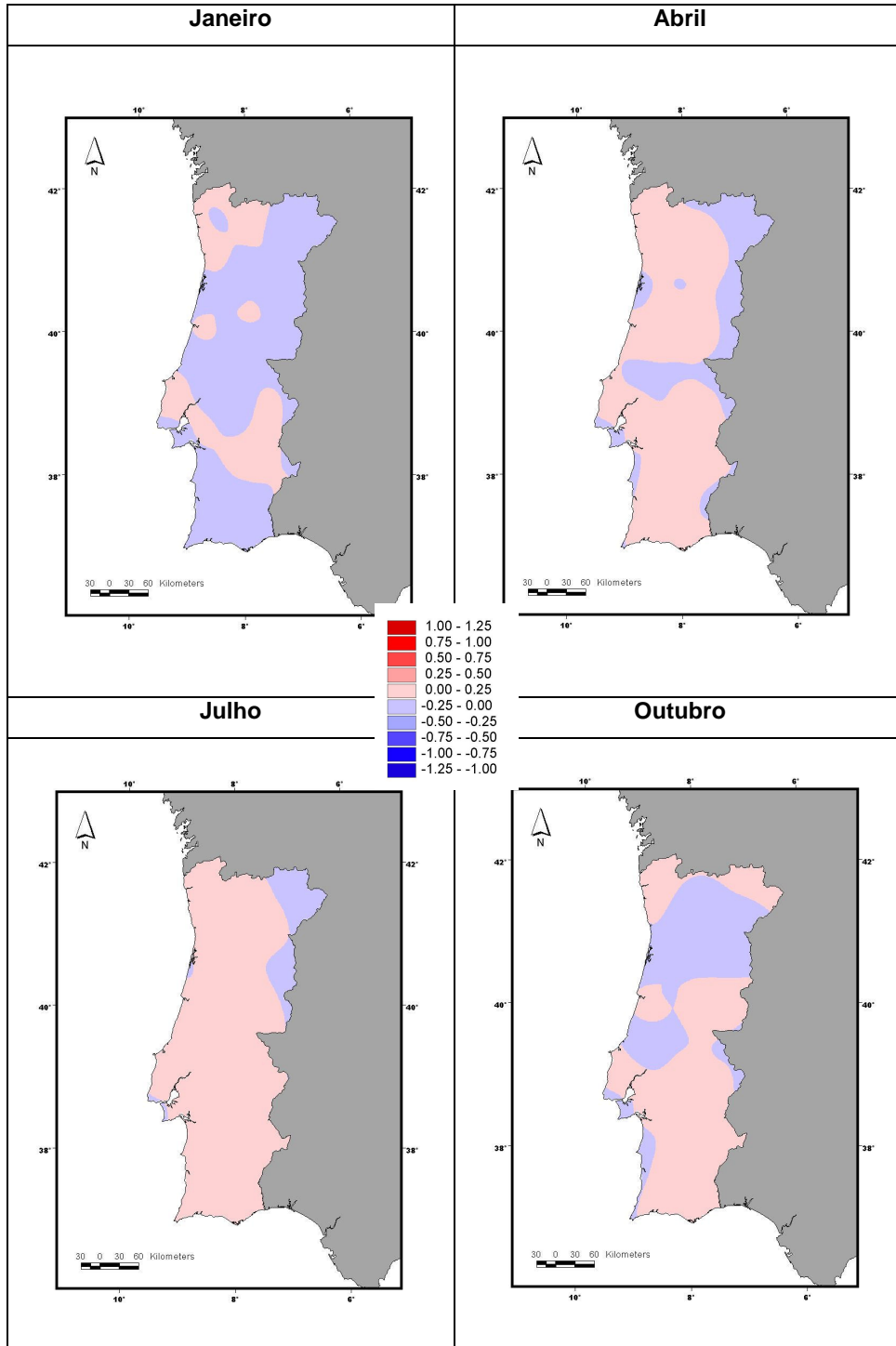


Figura 72 . Tendência anual do índice de conforto bioclimático nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, no período 1961-2000.

6.2.1 Significância do Declive das Rectas de Regressão

Para analisar a significância estatística dos valores do declive, com uma confiança de 95 % optou-se por testar a hipótese nula com o método dos mínimos quadrados. Os valores elevados de correlação não implicam causalidade. Através da aplicação do teste estatístico dos mínimos quadrados, consegue-se avaliar qual o tipo de relação entre a variável independente, o ano, e a variável dependente, a entalpia. Neste caso o teste da hipótese nula comprova que o x , não contribui com informação para a previsão de y , e a hipótese alternativa confirma que as variáveis x e y estão linearmente relacionadas com o declive da recta que é diferente de 0.

Assim, dos resultados obtidos (ver Anexo F), pode afirmar-se que os meses em que os dados das estações meteorológicas melhor suportam a hipótese alternativa são o mês de Julho (24 estações meteorológicas têm significância inferior a 0.05), o mês de Abril (6 estações meteorológicas têm significância inferior a 0.05), o mês de Outubro (4 estações meteorológicas têm significância inferior a 0.05), e por último o mês de Janeiro (apenas 2 estações meteorológicas têm significância inferior a 0.05). Assim, pode dizer-se apenas que no mês de Julho existe uma tendência positiva do índice de conforto bioclimático. Na tabela 22, apresentam-se as estações meteorológicas e os respectivos declives com significância estatística.

Tabela 22 . Declives estatisticamente significativos (sig<0.05).

Janeiro		DECLIVE
162	LISBOA/TAPADA AJUDA	-0.10
226	MORA	-0.02
Abril		
110	MONTEMOR-O-VELHO	0.03
167	PEGOES	0.25
23	BRAGA/POSTO AGRARIO	0.02
247	VIANA DO ALENTEJO	0.13
55	PINHAO/SANTA BARBARA	0.03
70	FIGUEIRA DE CASTELO RODRIGO	-0.01
Julho		
105	ANADIA	0.04
11	MONTALEGRE	0.04
110	MONTEMOR-O-VELHO	0.07
167	PEGOES	0.03
170	SETUBAL	0.04
174	ALCACER DO SAL	0.03
196	VILA DO BISPO	0.03
229	VILA FERNANDO	0.02
23	BRAGA/POSTO AGRARIO	0.04
247	VIANA DO ALENTEJO	0.03
253	CONTENDA	0.02
263	MERTOLA/VALE FORMOSO	0.03
266	VILA REAL DE SANTO ANTONIO	0.05
282	TAVIRA	0.03
532	SINTRA/GRANJA/BASE AEREA	0.02
534	MONTIJO/BASE AEREA	0.03
535	LISBOA	0.03
540	MONTE REAL/BASE AEREA	0.03
546	PORTO/SERRA PILAR	0.03
549	COIMBRA/GEOFISICO	0.02
568	PENHAS DOURADAS	0.04
85	NELAS	0.04
98	FUNDAO	0.05
104	DUNAS DE MIRA	0.00
162	LISBOA/TAPADA AJUDA	0.01
55	PINHAO/SANTA BARBARA	0.09
Outubro		
104	DUNAS DE MIRA	-0.03
162	LISBOA/TAPADA AJUDA	-0.02
55	PINHAO/SANTA BARBARA	-0.07
98	FUNDAO	0.02

6.3 Interpretação e Discussão

6.3.1 Séries climáticas 1941-70 e 1971-00

A aplicação do teste estatístico t-student , aos valores médios da temperatura média do ar, e da humidade às 9:00 TU e entalpia , a 31 estações meteorológicas no território nacional revelam tendências distintas:

- Os valores médios da **entalpia**, não sofreram alterações significativas, nas 31 estações climatológicas estudadas em todos os meses .
- Os valores médios da **humidade relativa do ar** às 9:00 TU, sofreram aumentos significativos, nos meses de Abril e Outubro. Se a confiança for reduzida para 80% ($\alpha=0.20$) podemos aceitar a existência de alterações em todos os meses para a humidade relativa do ar.
- Os valores médios da **temperatura média do ar**, não sofreram alterações estatisticamente significativas, em nenhum dos meses estudados.

Tendo em conta os resultados entre os valores médios de 1941-70 e 1971-00, importa referir que, quando os valores da temperatura média do ar sofrem um decréscimo, nos meses de Inverno, a sensação de conforto poderá inverter-se, e passar a sensação de desconforto, caracterizada também por um decréscimo do índice de conforto bioclimático.

Da mesma forma, quando os valores da temperatura média do ar sofrem um acréscimo, nos meses de Verão, poder-se-á passar de uma sensação de conforto bioclimático, para uma sensação de desconforto, devido ao aumento do índice de conforto bioclimático.

Há que ter em conta que os valores médios da temperatura média do ar de ambas as normais climatológicas , 1941-70 e 1971-00, não sofreram alterações significativas.

Dos 4 meses estudados, o mês de Janeiro é o que apresenta um *range* menor nos períodos 1961-90 e 1971-00, e consequente maior variabilidade espacial.

O homem, experimenta o bem-estar agradável quando a entalpia do ar se encontra dentro de certos limites. Contudo quando os valores são demasiado altos ou baixos, o ser humano pode experimentar sensações muito desconfortáveis podendo em alguns casos, conduzir à morte. Assim, importa referir que maiores divergências poderão ocorrer não com os valores médios, mas sim com os valores extremos. Estes poderão eventualmente projectar os valores para condições letais ao ser humano.

6.3.2 Série climática 1961-2000

Da análise espacial de tendências climáticas no período 1961-00, pode concluir-se que:

- As maiores diferenças ocorreram nos meses de Abril e Julho, entre as décadas de 81-90 e 91-00, onde as cartas revelam aumento dos valores do índice de conforto bioclimático. Se estas diferenças poderão ser positivas no mês de Abril, pois não excedem os valores de conforto, é o caso de Viana do Alentejo que atinge o valor na década de 91-00, de 11.74 Kcal/Kg, a que corresponde uma sensação de conforto bioclimático de quente (11.0-12.0 Kcal/Kg) , já não acontece o mesmo no mês de Julho, onde estes se aproximam dos limiares muito quentes.

- Entre a década de 61-70 e 71-80, verificou-se no mês de Outubro uma diminuição dos valores de entalpia específica do ar. Esta diminuição provocou um aumento da sensação de conforto na região da Terra Quente Dourriense. Entre 1961-70 e 1971-80, em Pinhão Santa Bárbara , passou-se de uma sensação de conforto bioclimático muito quente, 13.01 Kcal/Kg , para uma sensação de conforto bioclimático confortável (9.45 Kcal/Kg). Pelo contrário entre as décadas de 71-80 e 81-90 os valores do índice de conforto bioclimático sofreram um acréscimo. Este aumento afectou todo o Sul do território continental. Passou-se da sensação de confortável (8.5-10.0 Kcal/Kg) para a sensação de confortável quente (10.0-11.0 Kcal/Kg).
- Ao longo dos últimos 40 anos estudados (1961-2000), os mapas de Janeiro e Outubro apresentam tendências de diminuição do índice de conforto bioclimático, enquanto os meses característicos da estação da Primavera e Verão demonstram uma tendência para um aumento deste.

7 . Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

Neste capítulo, é feita uma sùmula dos principais resultados obtidos, em particular, a verificaçãõ das hipóteses apresentadas no início, sãõ referidas as limitaçoões do estudo e recomendaçoões para pesquisa futura.

Tendo em conta os objectivos propostos, nomeadamente, a produçãõ cartogrãfica, foram analisados diversos métodos de interpolaçãõ do índice de conforto bioclimãtico, nos meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro.

Os modelos testados foram:

Inverse distance weigthing - IDW;

Spline tension;

Polinomial Local;

Krigagem normal e universal;

Regressãõ com *Krigagem* dos resíduos.

A avaliaçãõ do desempenho dos modelos de interpolaçãõ é feita, nos primeiros casos, por validaçãõ cruzada, através dos erros associados à estimaçãõ. No modelo de regressãõ com krigagem de resíduos o seu desempenho é avaliado através dos coeficientes de correlaçãõ. Esta análise é complementada, com uma observaçãõ visual das cartas.

Uma das premissas da aplicaçãõ dos métodos geoestatísticos, nomeadamente da regressãõ e da *Krigagem*, é a de que a populaçãõ tem uma distribuìçãõ normal. Esta assumpçãõ de estacionariedade raramente é preenchida, o que foi comprovado através da análise exploratória dos dados.

As cartas que melhor representam a espacializaçãõ do índice de conforto bioclimãtico, sãõ as elaboradas com o método de regressãõ com *Krigagem* de resíduos. Por um lado, os resultados das cartas de regressãõ com *krigagem* de resíduos contribuem para um melhor conhecimento da influencia da altitude. Por outro, a aplicaçãõ dos modelos estatísticos de interpolaçãõ como o em dados sem estacionariedade, como a entalpia do ar, demonstram que dãõ resultados pouco realistas. Através da remoçãõ de tendênciam, a aproximaçãõ da *Krigagem* residual é mais realista, visto os

dados utilizados na interpolação estarem mais próximos da não estacionariedade.

Quando é tida em conta a variável independente, a altitude, podemos afirmar que a entalpia do ar tem uma correlação negativa com a altitude, e uma variação sazonal. No Verão, concretamente no mês de Julho, esta variável é menos reflectida na produção cartográfica (os coeficientes de determinação podem ser apenas de 0.4), ao contrário do mês de Abril, onde o seu papel tem maior significado (os coeficientes de determinação atingem 0.9).

Dos resultados obtidos com os métodos de interpolação, os que são mais adequados são:

- do grupo dos determinísticos o método ***radial basis function spline tension***, e do grupo dos geoestatísticos o ***kriging normal***.
- Por vezes os métodos **IDW** e **universal kriging**, apresentam resultados muito semelhantes, pelo que poder-se-á optar ou não pela sua utilização.
- O mês de Janeiro é o que se destaca com coeficientes de correlação entre os valores observados e estimados mais elevados, ao contrário do mês de Julho, que em geral, apresenta os valores de coeficientes de correlação entre os valores estimados e observados mais baixos.
- A distribuição das estações é um factor chave na obtenção dos dados finais, tendo-se no entanto verificado que nem sempre a elevada densidade da rede de estações meteorológicas significa que se obtenham menores erros de estimação.

Tendo em conta as hipóteses inicialmente colocadas, de existir alteração dos três parâmetros climáticos estudados, entre 1941-70 e 1971-00, conclui-se que:

- Não são estatisticamente significativas as diferenças dos valores médios da **entalpia do ar**.
- O índice de conforto bioclimático apresenta tendência para aumentar, em Janeiro e Julho, e uma tendência para diminuir nos meses de Abril e Outubro.
- As diferenças dos valores médios da **temperatura do ar**, não são estatisticamente significativas . À excepção do mês de Julho, houve uma tendência para diminuição.
- A humidade relativa do ar às 9:00 T.U. apresenta tendência para aumento, tendo revelado os meses de Abril e Outubro, aumentos significativos do ponto de vista estatístico.

A tendência de variabilidade espacial do índice de conforto bioclimático, ao longo de 40 anos, no período 1961-2000, constitui outro objectivo de estudo da presente dissertação. Com este tipo de análise pretendeu-se caracterizar a evolução do índice de conforto bioclimático (aumento/diminuição), bem como quais os locais onde estas ocorreram:

- Ao longo dos últimos 40 anos estudados (1961-2000) Janeiro e Outubro apresentam tendências de diminuição do índice de conforto bioclimático, enquanto os meses característicos da estação da Primavera e Verão demonstram uma tendência para aumento.
- As alterações do índice de conforto bioclimático não poderão ser interpretadas da mesma forma, visto, os aumentos e diminuições de temperatura , significarem situações idênticas de sensação climática. Tudo depende do comportamento sazonal. Assim, um aumento de temperatura em Julho e uma diminuição de temperatura em Janeiro, significam ambos um aumento do desconforto.

Por outro lado, de uma forma geral, as condições bioclimáticas médias no território, entre 1961-2000, tornaram-se mais quentes na Primavera e no Verão, e mais frias no Outono e Inverno. Deste modo a temperatura torna-se numa variável determinante para a sensação térmica dos seres humanos.

Fica assim demonstrado, que durante os últimos 60 anos, em Portugal Continental, da mesma forma em que se operaram noutras variáveis, nomeadamente na temperatura média do ar, ocorreram variações no comportamento das sensações térmicas das pessoas.

Em geral, as condições bioclimáticas tornaram-se mais desconfortáveis nos últimos 40 anos, e de uma forma mais significativa no mês típico de Verão, em Julho.

Toda a cartografia desenvolvida neste estudo, permite revelar a distribuição e variabilidade do índice de conforto bioclimático de Demetrio Brazol. Os Sistemas de Informação Geográfica disponibilizam um enorme potencial para obter cada vez mais superfícies de interpolação de elevada precisão.

Da comparação efectuada entre as cartas elaboradas com métodos manuais e métodos de Sistemas de Informação Geográfica, constata-se que embora existam diferenças, o zonamento de uma forma geral é muito semelhante.

Através da correcta compreensão e aplicação desta informação, este trabalho poderá contribuir para solucionar problemas do território nacional em diversas áreas, nomeadamente, no sector turístico, na urbanização, na prevenção contra doenças, no fenómenos de litoralização, nos problemas demográficos dos grandes centros urbanos, etc.

Os resultados obtidos foram condicionados por diversos factores. Por um lado, os dados disponíveis existentes no Instituto de Meteorologia. Note-se que o problema actual das lacunas existentes nestes dados dizem respeito à falta de dados digitados respeitantes à última normal climatológica tratada,

1971-00. Neste período, ocorreu uma transição de estações climatológicas clássicas para estações climatológicas automáticas.

Como já foi referido anteriormente densidade da rede de estações e as características a esta inerentes é também um dos factores a ter em conta na elaboração das cartas de previsão.

Futuramente, tendo em conta que a comunidade científica e a sociedade em geral, se preocupam com o aquecimento global, e com as flutuações ou alterações climáticas que lhe estão associadas, seria interessante cartografar o índice de conforto bioclimático tendo em conta os cenários climáticos perspectivados para um futuro próximo. Estes prevêem um aumento de ambos os parâmetros climáticos, temperatura média do ar, com um aumento mais substancial no Verão, e humidade relativa. Como tal, a conjugação de ambos os parâmetros, poderá ser prejudicial para o ser humano e também para algumas actividades sócio-económicas.

Toda a cartografia poderá ser melhorada através da utilização de uma rede de estações, que tenha em conta por um lado as características dos próprios dados e por outro, uma melhor distribuição das mesmas.

Fica, a título de proposta para o Instituto de Meteorologia, a actualização da informação, no âmbito do Projecto ICARO, tendo em conta que já existe no site do Instituto (www.meteo.pt), um índice de arrefecimento por efeito do vento (Wind Chill). Por um lado, pretende operacionalizar-se o cálculo do índice de conforto bioclimático, através das temperaturas médias do ar e humidade relativa, por outro, poder-se-á actualizar a informação, disponibilizando ao público as cartas do índice de conforto bioclimático com base nas previsões dos parâmetros de cálculo, para os três dias subsequentes.

Referências Bibliográficas

- ALCOFORADO, M. J., ALEGRIA, M. F., PEREIRA, A. R., SIRGADO, C., 1982. *Domínios bioclimáticos em Portugal, definidos por comparação dos índices de Gaussen et D'Emberger*. Relatório de Investigação 14, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- BRAZOL, D., 1949, El climograma termodinamico: guia para analizar y corregir el clima. *Coleccion Aeronautica Argentina, Anexo ao Vol. 17*.
- BRAZOL, D., 1954. Bosquejo bioclimatico de la Republica Argentina. *Meteoros*, **4**, 381-394.
- BRAZOL, D., 1955. Escala bioclimatica universal. *Coleccion Aeronautica Argentina*, **40**, 1-9.
- BURROUGH, A., e MCDONNELL, R. A., 1998, *Principles of geographical information systems* (Oxford: Oxford University Press).
- COMMONWEALTH BUREAU OF METEOROLOGY, 2003, *Annual and seasonal temperature trends since 1950*. (URL: <http://www.bom.gov.au/climate/change/seatrends.shtml>, consulta em 07-12-2003).
- DANGERMOND, J., 2001, Jack e o mapa do tesouro. *Fortunas & Negócios*, 44-46.
- DAVIES, N.E., 1968, An optimum summer weather index. *Weather*, **23**, 305-317.
- DOBESCH, H., TVEITO., O. H. e BIESSEMOULIN, P., 2001, *Geographic information systems in climatological application*. Final Report, ECSN, Oslo.
- ESCOURROU, G., 1988, Refléxions sur la notion de stress en bioclimatologie humaine. *Bulletin Association Geographie Française*, 347-355.
- ESRI, 2003, *Basics of Geostatistical Analysis : Introduction to Geostatistical Analysis*. (URL: <http://campus.esri.com/>, consulta em 03-11-2003).
- FALCÃO, J.M., NOGUEIRA P. J., CONTREIRAS, M.T., PAIXÃO, E., BRANDÃO J., BATISTA, I., 2003. *Onda de calor de Agosto 2003: repercussões sobre a saúde da população*, Relatório de Investigação, Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge, Lisboa.
- FANGER, P. O., 1970, *Thermal Comfort* (Copenhagen: Danish Technical Press).
- GANHO, N., 1998. *O clima urbano de Coimbra: estudo de climatologia local aplicada ao ordenamento urbano*. Relatório, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- GRUPO DE ANÁLISE DE SISTEMAS AMBIENTAIS, 2003, *Métodos de Interpolação*. (URL: <http://air.dcea.fct.unl.pt/aulas/tig/aula4/interpol.html>, consulta em 03-10-2003).
- HOUGHTEN, F., e YAGLOU, C., 1923, Determining lines of equal comfort. *American Society of Heating and Ventilating Engineers*, **29**, 163-176.
- HU, J., 1995, Methods of generating surfaces in environmental GIS applications [Versão electrónica]. *1st Annual ESRI Conference*. (URL: http://www.geocomputation.org/1998/93/gc_93.htm, consulta em 02-02-04).
- JOHNSTON, K., VER HOEF, J. M., KRIVORUCHKO, K., LUCAS, N., 2001. *Using ArcGis Geostatistical Analyst* (Redlands: ESRI).
- LEON, A. C., CAMPOS, A., GUEVARA, A.V., VEJA, R., MARTINEZ, C.L., 2003. *Estacionalidad y Tendencias Actuales de las Sensaciones Termicas de los Individuos en las Provincias Habaneras*, Instituto de Meteorologia, Havana. (URL: [http://www.met.inf.cu/Memorias/Paginas/Articulos/Cubanos\(PDF\)/Antonia_Leon.pdf](http://www.met.inf.cu/Memorias/Paginas/Articulos/Cubanos(PDF)/Antonia_Leon.pdf), consulta em 20-12-2003).
- MATZARAKIS, A., 2001, *Climate and bioclimate information for tourism in Greece*, (Freiburg: Meteorological Institute).
- MENDENHALL, W., e SINCICH, T., 1992, *Statistics for engineering and sciences* (3^a ed.) (Nova York: Dellen Publishing Company).

- MORENO, A. J., GARCÍA, F. F., VARELA, C. V., FLORES, M. E., 2002. *La distribución de la renta en la comunidad de Madrid: análisis y aplicaciones*. (Madrid, Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid).
- OBSERVATÓRIO NACIONAL DE SAÚDE, 2003, *O Sistema de Vigilância e Monitorização de Ondas de Calor com Efeitos Sobre a Mortalidade*. (URL: http://www.onsa.pt/conteu/fontes/proj_icaro.html, consulta em 07-02-2003).
- PEREIRA, A., e POUPA, C., 2003, *Como escrever uma tese usando o Word* (2ª ed.) (Lisboa: Sílabo).
- PEIXOTO, J. PINTO, 1967, A energética da atmosfera e os campos da entalpia. *Fascículo Geofísico*, **7**, 8-13.
- SANTOS, F.D., FORBES, K., e MOITA, R., 2002, *climate change in Portuga: scenarios, impacts and adaptation measures – SIAM Project* (Lisboa: Gradiva).
- STEADMAN, R. G., 1979, The assessment of sultriness, part 2: effect of wind, extra radiation. and barometric pressure on apparent temperature. *Journal for Applied Meteorology*, **18**, 874-884.
- TERJUNG, W.H., 1968, World patterns of distribution of the monthly comfort index. *Int Journal of Biometeorology*, **12**, 119-151.
- THOM, E. C., 1959, *Discomfort index* (Londres: Weatherwise).
- TVEITO, O., e FORLAND, E. J., 1999, Mapping temperatures in Norway applying terrain information geostatistics and GIS. *Norsk Geogr. Tidsskr*, **53**, 202-212.
- VAREJÃO-SILVA, M. A., 2000, *Meteorologia e climatologia* (Lisboa: Gráfica e Editora Stilo).