

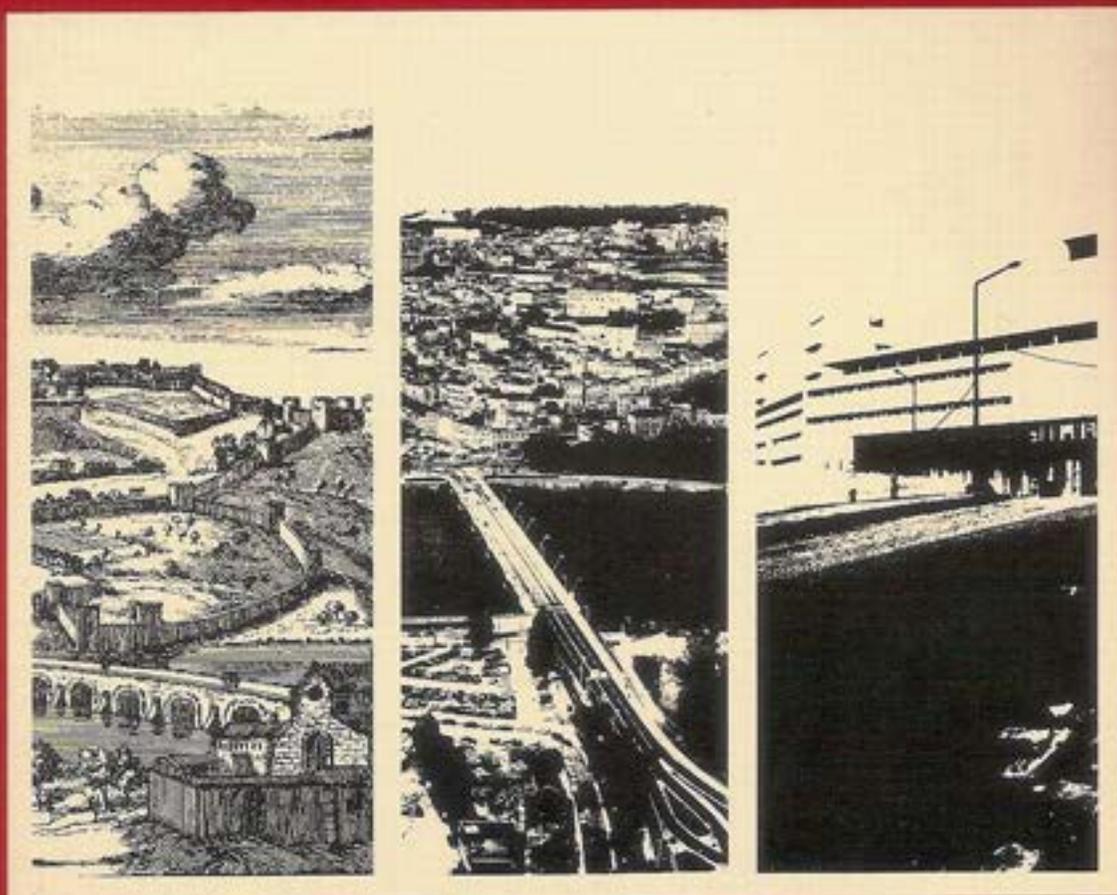
CADERNOS DE GEOGRAFIA

NÚMERO ESPECIAL

INSTITUTO DE ESTUDOS GEOGRÁFICOS
com a colaboração do Centro de Estudos Geográficos

FACULDADE DE LETRAS - UNIVERSIDADE DE COIMBRA

ACTAS DO SEGUNDO COLÓQUIO DE GEOGRAFIA DE COIMBRA
COIMBRA 1999



TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS SECULARES EM COIMBRA

Resultados preliminares da aplicação de modelos de regressão*

Nuno Ganho**

1. Introdução

Este trabalho surge na sequência de um outro sobre a "Evolução da temperatura em Coimbra - Resultados da aplicação de um modelo de regressão", apresentado no *IV Colóquio Ibérico de Geografia*, no Porto, e publicado nas respectivas *Actas* (N. GANHO, 1992). Na altura divulgaram-se os resultados da evolução secular da temperatura em Coimbra, a partir do estudo das séries de temperaturas máximas e mínimas médias, mensais e anuais, observadas no período de 1891 a 1990, na estação meteorológica do Instituto Geofísico da Universidade (IGU), localizada no interior da mancha de povoamento urbano, embora em situação topográfica particular (N. GANHO, 1992, pp. 891-892). Os resultados do ajustamento da recta dos "mínimos quadrados" às respectivas séries e a estimação das variações teóricas das temperaturas no período, foi completada com a comparação dos resultados obtidos no IGU para séries das mesmas variáveis, mais curtas, nomeadamente 1947-90 e 1971-90, com os resultados encontrados através da mesma metodologia para a estação meteorológica de Bencanta, localizada na periferia setentrional da cidade de Coimbra, num contexto topográfico e relativamente à mancha de povoamento urbano e características de ocupação do solo, significativamente diferente do IGU (N. GANHO, 1992, pp. 891-892).

No trabalho que agora se apresenta, não se esbalecem comparações de resultados com Bencanta, divulgam-se apenas os resultados obtidos para o IGU, através do mesmo método (regressões simples), relativos ao mesmo período secular (1891-1990), mas generalizado a toda uma diversidade de parâmetros relativos a outras variáveis climáticas para além da temperatura, embora por uma questão de coerência interna se apresentem também os resultados encontrados para as temperaturas máximas

e mínimas médias mensais e anuais, já divulgados na referida publicação de 1992, mas que agora, enquadrados num contexto mais vasto de variáveis climáticas, podem assumir um interesse acrescido na "história" do comportamento do clima de Coimbra nos últimos cem anos deste final de milénio.

2. Metodologia

As variáveis climáticas agora contempladas foram então:

- a nebulosidade, a insolação em nº de horas e a razão de insolação¹, médias,
- as temperaturas mínimas médias e mínimas absolutas, e máximas médias e máximas absolutas,
- as humidades relativas mínimas e máximas, médias,
- as velocidades do vento, médias, máximas horárias e rajada máxima,
- a precipitação em nº de dias, acumulada (0-24h), máxima em 24h e máxima em 1h,
- e o granizo ou saraiva, e a geada e o gelo, em nº de dias, como formas particulares de precipitação, respectivamente, precipitação sólida e precipitação oculta.

Para todas estas variáveis, consideraram-se as séries mensais e anuais no período de 1891-1990 (no caso da rajada máxima do vento só para 1916-1990, por falta de dados anteriores), correspondentes à estação meteorológica do IGU, para as quais se averiguaram as tendências²

¹ A razão de insolação é a relação entre o número de horas de Sol descoberto e o número máximo possível, na ausência total de nebulosidade ou de nevoeiro, expressa em percentagem.

² A evidencialização de tendências nas séries cronológicas pode fazer-se utilizando vários métodos. Para séries climáticas de estações meteorológicas portuguesas foram já utilizados vários: comparação de médias, de medianas e de frequências correspondentes a períodos diferentes (J. C. MORAIS e A. B. PEREIRA, 1954; M. J. ALCOFORADO, 1988, 1992), modelos de regressão linear (M. J. ALCOFORADO, 1988, 1992; A. MONTEIRO, 1993; P. T. GOMES, 1994), método das médias móveis (A. MONTEIRO, 1988, 1993; P. T. GOMES, 1994), entre outros (P. T. GOMES, 1994). No entanto, a averiguação de tendências que aqui

* Versão correspondente à agregação temática, ligeiramente alterada e aumentada, de resultados apresentados de forma dispersa ao longo do 2º Capítulo de N. GANHO, 1998, pp. 81-154.

** Instituto de Estudos Geográficos e Centro de Estudos Geográficos, Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra.

seculares, por intermédio do método dos mínimos quadrados, ou seja, de regressões simples estabelecidas entre as variáveis climáticas (Y) e o tempo (X). Apresentam-se os coeficientes de correlação (r) e, para aqueles cujo valor obtido revela relações significativas entre os regressores, dentro de intervalos de confiança de, pelo menos 90%, de acordo com as tabelas do "r" de *Bravais-Pearson* (GROUPE CHADULE, 1994, p. 195; R. ARLÉRY *et al.*, 1973, p. 407) e em função da dimensão das séries cronológicas analisadas, através das equações das rectas, do tipo $Y=aX+b$, estimou-se a variação secular teórica, que se apresenta, tal como, por vezes, os respectivos gráficos com a linha poligonal

se faz tem como objectivo principal o de revelar as mais evidentes. Por isso se utiliza apenas um tipo de metodologia e se consideram os resultados como "preliminares". Se o objectivo fundamental fosse o do estudo aprofundado de alterações climáticas *de per si*, dada a complexidade do problema e das características das séries, vários métodos deveriam ser testados conjuntamente para que se chegassem a resultados de pormenor significativos e conclusivos. Isso, por si só, constituiria material para a totalidade de uma tese de doutoramento, o que não é o caso.

representativa dos dados brutos e a correspondente recta de regressão³.

3. Resultados

3.1. *Nebulosidade, insolação e razão de insolação*

Observando-se os resultados do modelo de regressão entre os valores médios anuais e mensais de **nebulosidade** e o tempo, no período de 1891-1990 (Quadro I), verificam-se tendências, com significado estatístico para uma margem de erro inferior a 10%, positivas nos meses de Janeiro e de Março a Agosto, e negativas no mês de Novembro. As variações mais significativas, estimadas

³ Limitou-se a apresentação dos gráficos com os dados brutos e com a recta de regressão, apenas às séries anuais para as quais a regressão se revelou significativa, não o fazendo para qualquer das séries mensais, para não sobrecarregar o trabalho.

Quadro I - Coeficientes de correlação (r) obtidos pelo modelo de regressão simples entre as séries mensais e anuais de variáveis climáticas (Y) e o tempo (X), em Coimbra-IGU (1891-1990).

Coef. Correlação (r) 1891-1990	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Ano
Nebul. décimos	<u>0.24</u>	0.14	0.04	0.08	<u>0.23</u>	<u>0.38</u>	<u>0.38</u>	<u>0.55</u>	0.11	0.07	<u>-0.18</u>	-0.01	<u>0.27</u>
Insolação nº horas	-0.10	-0.03	0.06	-0.01	0.05	0.01	-0.06	-0.06	-0.03	0.08	0.12	0.08	0.02
Razão Insolação %	-0.06	-0.04	0.06	-0.01	0.05	0.02	-0.04	-0.06	-0.03	0.06	0.12	0.08	-0.05
Temp. mín. °C	0.14	0.07	-0.03	<u>-0.23</u>	<u>-0.29</u>	<u>-0.20</u>	-0.12	<u>-0.17</u>	-0.13	0.00	-0.00	0.03	-0.12
Temp. mín. absol. °C	-0.04	-0.13	-0.12	<u>-0.25</u>	<u>-0.28</u>	<u>-0.37</u>	<u>-0.22</u>	<u>-0.25</u>	-0.10	-0.06	<u>-0.18</u>	<u>-0.21</u>	<u>-0.20</u>
Temp. máx. °C	<u>0.55</u>	<u>0.24</u>	<u>0.36</u>	0.13	-0.00	0.13	0.16	<u>0.18</u>	<u>0.30</u>	<u>0.37</u>	<u>0.47</u>	<u>0.47</u>	<u>0.50</u>
Temp. máx. absol. °C	<u>0.47</u>	<u>0.38</u>	<u>0.28</u>	0.05	-0.12	-0.02	-0.07	0.12	<u>0.19</u>	<u>0.32</u>	<u>0.45</u>	<u>0.55</u>	0.01
Hum. rel. mín. %	-0.08	-0.06	-0.14	0.00	0.15	<u>0.28</u>	<u>0.18</u>	0.10	-0.09	<u>-0.21</u>	<u>-0.36</u>	<u>-0.35</u>	-0.11
Hum. rel. máx. %	0.02	0.12	-0.10	0.08	0.09	-0.01	-0.07	-0.15	<u>0.18</u>	-0.01	0.02	0.07	0.02
Vento vel. méd. km/h	<u>-0.47</u>	<u>-0.49</u>	<u>-0.67</u>	<u>-0.77</u>	<u>-0.76</u>	<u>-0.78</u>	<u>-0.82</u>	<u>-0.76</u>	<u>-0.73</u>	<u>-0.57</u>	<u>-0.50</u>	<u>-0.36</u>	<u>-0.80</u>
Vento vel. máx. h. km/h	<u>-0.52</u>	<u>-0.47</u>	<u>-0.60</u>	<u>-0.56</u>	<u>-0.61</u>	<u>-0.56</u>	<u>-0.57</u>	<u>-0.54</u>	<u>-0.63</u>	<u>-0.56</u>	<u>-0.49</u>	<u>-0.41</u>	<u>-0.67</u>
Vento rajada máx. km/h*	<u>-0.22</u>	-0.14	<u>-0.24</u>	<u>-0.35</u>	-0.10	-0.17	-0.18	0.06	-0.12	-0.07	-0.11	0.01	-0.2
Precipitação nº dias	<u>0.21</u>	0.16	-0.05	0.09	0.00	-0.01	-0.04	0.08	-0.12	-0.03	0.01	0.04	0.14
Precipitação mm	<u>0.18</u>	0.09	-0.12	0.10	0.05	0.07	-0.10	0.05	-0.11	-0.06	-0.03	0.03	0.08
Pr. máx. 24h mm	0.12	0.09	-0.15	0.13	0.10	0.06	-0.05	0.10	-0.03	-0.02	-0.09	0.15	-0.02
Pr. máx. 1h mm	<u>0.26</u>	<u>0.17</u>	0.06	0.03	-0.07	0.08	-0.03	0.06	-0.08	0.07	0.05	<u>0.21</u>	0.04
Gran./sar. nº dias	<u>-0.25</u>	<u>-0.29</u>	<u>-0.36</u>	<u>-0.19</u>	<u>-0.25</u>	-0.01	-0.02	-0.09	<u>-0.20</u>	-0.14	<u>-0.33</u>	<u>-0.32</u>	<u>-0.59</u>
Geadas/gelo nº dias	<u>-0.35</u>	<u>-0.29</u>	<u>-0.28</u>	<u>-0.19</u>	-0.14	-	-	-	-	-0.16	<u>-0.18</u>	<u>-0.22</u>	<u>-0.46</u>

* 1916-1990

Límiars de significância:

- Para *todas as variáveis* (1891-1990): os coeficientes de correlação só são significativos (a sublinhado), para a dimensão da série analisada (n=100), quando em valor absoluto sejam superiores a **0.17** para uma margem de erro de **10%**, a **0.21** para **5%**, a **0.24** para **2%** e a **0.27** para **1%** (GROUPE CHADULE, 1994, p. 195; R. ARLÉRY *et al.*, 1973, p. 407).
- Para a *rajada máxima do vento* (1916-1990): os coeficientes de correlação só são significativos (a sublinhado), para a dimensão da série analisada (n=75), quando em valor absoluto sejam superiores a **0.20** para uma margem de erro de **10%**, a **0.23** para **5%**, a **0.27** para **2%** e a **0.30** para **1%** (GROUPE CHADULE, 1994, p. 195; R. ARLÉRY *et al.*, 1973, p. 407).

Quadro II - Tendências estimadas pelo modelo de regressão simples entre as séries mensais e anuais de variáveis climáticas (Y) e o tempo (X), em Coimbra-IGU (1891-1990).

Tendência estimada 1891-1990	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Ano
Nebul. décimos	1,4	-	-	-	0,9	1,4	1,6	1,9	-	-	-0,9	-	0,5
Insolação nº horas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Razão Insolação %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temp. mín. °C	-	-	-	-0,9	-1,2	-0,6	-	-0,6	-	-	-	-	-
Temp. mín. absol. °C	-	-	-	-1,4	-1,6	-1,9	-0,9	-1,1	-	-	-1,2	-1,3	-0,9
Temp. máx. °C	2,5	1,3	2,7	-	-	-	-	1,0	1,9	2,8	2,7	2,0	1,7
Temp. máx. absol. °C	3,6	3,6	3,2	-	-	-	-	-	1,9	3,7	4,1	3,7	-
Hum. rel. mín. %	-	-	-	-	-	6,4	4,1	-	-	-5,8	-9,2	-9,6	-
Hum. rel. máx. %	-	-	-	-	-	-	-	-	2,3	-	-	-	-
Vento vel. méd. km/h	-4,7	-6,2	-7,1	-7,0	-6,3	-5,8	-6,2	-5,2	-5,1	-4,7	-4,7	-3,8	-5,6
Vento vel. máx. h. km/h	-23,9	-23,8	-27,6	-21,1	-23,6	-18,6	-20,3	-16,1	-22,3	-20,2	-23,8	-21,2	-27,1
Vento rajada máx. km/h*	-11,8	-	-8,8	-17,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Precipitação nº dias	4,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Precipitação mm	47,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pr. máx. 24h mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pr. máx. 1h mm	3,2	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,4	-
Gran./sar. nº dias	-0,9	-1,3	-1,6	-0,6	-0,6	-	-	-	-0,2	-	-0,7	-1,0	-7,0
Geadas/gelo nº dias	-5,7	-3,6	-1,5	-0,5	-	-	-	-	-	-	-1,1	-3,0	-15,7

* 1916-1990

Aumento	Diminuição
---------	------------

pelo modelo (Quadro II), correspondem aos meses de Junho, Julho e principalmente Agosto, com um aumento teórico da nebulosidade, no período, de 1.4 a 1.2 décimos, o que é notável. O aumento teórico da nebulosidade de Janeiro é também de 1.4 décimos, mas já em Novembro o modelo aponta para um decréscimo da nebulosidade de quase 1 décimo.

Relativamente à nebulosidade média anual (Quadro I), a tendência tem significado estatístico, é positiva e estimada em 0.5 décimos (Quadro II), e é bem evidenciada pela recta de regressão (Fig. 1).

Os valores dos coeficientes de correlação (r) do modelo de regressão, entre o nº de horas de insolação e o tempo, no período 1891-1990 (Quadro I), porque não significativos para um intervalo de confiança de, pelo menos 90%, não revelam qualquer tendência com significado estatístico, da variável, ao longo do tempo.

Mais importante, do ponto de vista climático, porque mais rica em informação uma vez que anula a influência da variação intra-anual da duração do dia natural e salienta a importância dos factores nebulosidade e nevoeiro na insolação, é a razão de insolação.

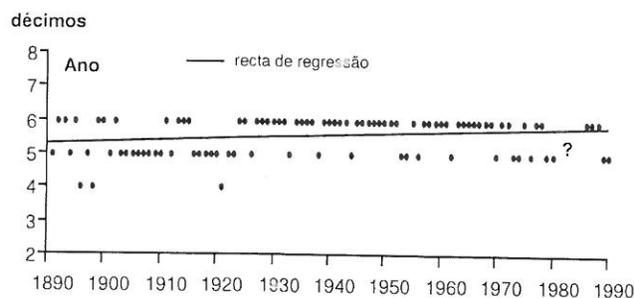


Fig. 1 - Evolução da nebulosidade média anual em Coimbra-IGU, no período 1891-1990.

No entanto, análise das séries seculares, mensais e anuais, de **razão de insolação**, não denuncia com validade estatística, nenhuma tendência ao longo do período de 1891-1990 (Quadro I), uma vez que, os coeficientes de correlação (r) não são, para qualquer das séries, significativos num intervalo de confiança de, pelo menos 90%, tal como se verificou no caso das correspondentes séries de duração de insolação, em nº de horas/dia, anteriormente referidas.

3.2. Temperatura

Os resultados do modelo de regressão aplicado à totalidade das séries não permite detectar qualquer tendência da **temperatura mínima média** anual ao longo do tempo.

Os coeficientes de correlação linear (" r ", Quadro I), não são significativos senão para algumas das séries mensais e nunca com intervalos de confiança maiores do que 98%, embora o limiar mínimo que se considera neste estudo, recorde-se, seja de 90%.

Relativamente aos meses de Junho e Agosto, o modelo aponta para uma diminuição da temperatura mínima, com uma margem de erro de 10%, estimada em -0.6°C (Quadro II). Em Abril, a tendência decrescente, estimada em -0.9°C , já pode ser aceite com uma margem de segurança de 95%, mas é no mês de Maio que os resultados obtidos permitem deduzir, com maior segurança (margem de erro de 2%), um arrefecimento nocturno de -1.2°C , ao longo dos 100 anos do período 1891-1990.

A falta de resultados estatisticamente aceitáveis para as séries dos restantes meses, não permite estabelecer comparações com, por exemplo, Lisboa, para a qual, relativamente à temperatura mínima média do mês mais frio (Janeiro), M. J. ALCOFORADO (1988, 1992), utilizando a mesma metodologia, embora para um período diferente (1857-1977), verificou a tendência, com uma margem de erro de 1%, para um aquecimento secular estimado em 1.2°C .

A averiguação de tendências seculares nas séries de **temperaturas mínimas absolutas**, de acordo com os valores dos coeficientes de correlação (r) obtidos (Quadro I), revela resultados significativos só para a série anual, com uma margem de erro de 10% e para as séries dos meses de Abril a Agosto, com uma margem de erro inferior a 5%, e de Novembro e Dezembro (margens de erro respectivamente de 10 e 5%). Os resultados são unânimes no sinal negativo das tendências, ou seja, na diminuição dos extremos mínimos de temperatura. Os valores teóricos estimados (Quadro II) são superiores a -1.5°C em Maio e Junho, situam-se entre -1.5 e -1.0 em Abril, Agosto, Novembro e Dezembro, e aproximam-se de -1.0°C em Julho.

Tal como mostra a figura 2, embora os valores anuais brutos da variável apresentem, ao longo do período 1891-1990, uma grande variabilidade interanual, o declive da recta de regressão testemunha a tendência para a diminuição das temperaturas mínimas extremas em Coimbra, estimada em -0.9°C .

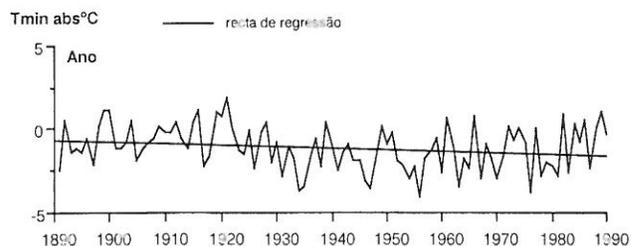


Fig. 2 - Evolução da temperatura mínima absoluta anual em Coimbra-IGU, no período 1891-1990.

Os resultados obtidos a partir do ajustamento da recta dos mínimos quadrados às séries de **temperatura máxima média** (Quadro I), permitem constatar um aquecimento progressivo no período de 1891-1990, exceptuando-se os meses de Abril, Maio, Junho e Julho, para os quais os coeficientes de correlação (r) não apresentam valores significativos dentro de um intervalo de confiança de, pelo menos, 90%. O coeficiente de correlação obtido para o mês de Agosto é válido para um intervalo de confiança de 90% e para o mês de Fevereiro de 98%. O aquecimento teórico deduzido pelo modelo é, para estes meses de, respectivamente, 1.0°C e 1.3°C (Quadro II).

Para as séries dos restantes meses e para a série anual, os coeficientes de correlação são muito significativos, e válidos com uma margem de erro de apenas 1%. O aumento teórico das temperaturas máximas é de 2.8°C em Outubro, 2.7°C em Novembro, 2.7°C em Março e de 2.5°C em Janeiro, valores muito significativos. Nos meses de Dezembro e Setembro, o aumento teórico da temperatura máxima é menor, embora também com grande significado: 2.0°C e 1.9°C , respectivamente.

Relativamente à temperatura máxima média anual, deduz-se um aquecimento de 1.7°C , não muito diferente do que obteve para Lisboa (1.77°C), no período 1857-1977, utilizando o mesmo método, M. J. ALCOFORADO (1988, 1992). Não obstante o comportamento dos dados anuais brutos, ao longo dos 100 anos considerados, revelar uma grande variabilidade interanual e um comportamento cíclico, com períodos mais quentes e períodos mais frescos (Fig. 3), o declive da recta de regressão evidencia nitidamente o aquecimento tendencial.

Os resultados do modelo de regressão aplicado às séries anual e mensais de **temperaturas máximas absolutas** no período 1891-1990 (Quadro I), através dos valores

dos coeficientes de correlação (r), não são significativos para um intervalo de confiança de pelo menos 10% no caso da série anual, são significativos para este intervalo de confiança no caso da série de Setembro e são muito significativos, com uma margem de erro inferior a 1%, no caso dos meses de Outubro a Março. Todos os resultados com significado estatístico, são de sinal positivo, apontando portanto para tendências crescentes da variável. Assim, os valores teóricos de aumento das temperaturas máximas absolutas estimados (Quadro II) são muito elevados: se para o mês de Setembro se aproximam de 2°C, em Março ultrapassam ligeiramente os 3°C, em Outubro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro, os 3.5°C e em Novembro os 4°C. Em qualquer dos casos trata-se de tendências com grande significado.

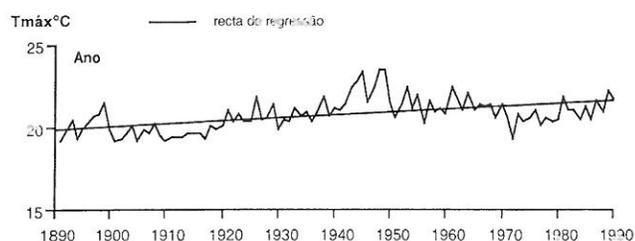


Fig. 3 - Evolução da temperatura máxima média anual em Coimbra-IGU, no período 1891-1990.

3.3. Humidade relativa

Relativamente aos resultados do modelo de regressão aplicado às séries seculares, mensais e anual, de **humidade relativa média mínima** (Quadro I), só se mostraram significativos os correspondentes aos meses de Julho, com uma margem de erro de 10%, de Outubro com uma margem de erro de 5%, e de Junho, Novembro e Dezembro para uma margem de erro de 1%. No caso dos meses estívais, o sinal positivo dos coeficientes de correlação (r) testemunham tendências crescentes da variável no período analisado, estimadas, teoricamente (Quadro II) em 6.4% em Junho e 4.1% em Julho. Pelo contrário, nos meses de Outubro, Novembro e Dezembro, os resultados obtidos apontam no sentido de uma diminuição da variável no tempo, estimada em -9.6% em Dezembro, -9.2% em Novembro e -5.8% em Outubro, o que é, principalmente em relação às séries dos dois primeiros meses referidos, tendencialmente significativo.

No caso das séries mensais e anual de **humidade relativa média máxima**, os resultados do modelo de regressão (Quadro I) não são significativos, dentro de um intervalo de confiança de, pelo menos 90%, para nenhuma das séries, à excepção da série do mês de Setembro, cujo

valor do coeficiente de correlação (r) é significativo com uma margem de erro de 10%, e de valor positivo, permitindo estimar a tendência para um aumento teórico dos valores da variável no tempo (1891-1990) de 2.3% (Quadro II).

3.4. Vento

Relativamente à **velocidade média do vento**, todos os coeficientes de correlação obtidos são altamente significativos (Quadro I) e, para um intervalo de confiança de 99%, revelam tendências para uma diminuição dos valores da variável no período de 1891-1990, estimadas teoricamente (Quadro II) entre -3.8km/h e -7.1km/h, correspondentes respectivamente a Dezembro e a Março. No caso da série anual, a tendência teórica é estimada em -5.6km/h e, não obstante uma nítida ciclicidade evidenciada pela linha poligonal dos dados brutos no gráfico da Fig. 4, o declive da recta dos mínimos quadrados não deixa dúvidas quanto à significativa tendência decrescente dos valores da velocidade média anual do vento, no IGU.

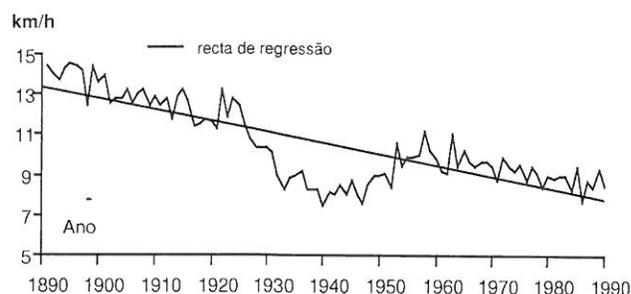


Fig. 4 - Evolução da velocidade média anual do vento em Coimbra-IGU, no período 1891-1990.

Os resultados obtidos pelo método dos mínimos quadrados, aplicado a todas as séries de **velocidade máxima horária do vento** (Quadro I), mostram coeficientes de correlação (r) todos muito significativos e negativos, revelando, com uma margem de erro inferior a 1%, tendências para uma diminuição secular (de 1891 para 1990) dos valores da variável. Os valores teóricos destas tendências, obtidos pelo modelo (Quadro II), apresentam diferenças algo significativas entre os diferentes meses do ano: o maior valor, de -27.6km/h, corresponde à série de Fevereiro e o menor valor, de -16.1km/h, à série de Agosto. Os restantes valores oscilam entre estes dois. No caso da série anual, a variação teórica é de -27.1km/h, o que é significativo e nitidamente evidenciado pelo declive da recta de regressão na Fig. 5.

No caso da averiguação de tendências nos valores de **rajada máxima do vento** (Quadro I), ao longo do tempo (neste caso, 1916-1990), os resultados só são estatística-

mente significativos para as séries dos meses de Janeiro, Março e Abril, para intervalos de confiança de, respectivamente, 90, 95 e 99%. Os valores teóricos da variação no tempo, estimados pelo modelo (Quadro II), são negativos e de -17.5km/h em Abril, de -11.8km/h em Janeiro e de -8.8km/h em Março, o que não corresponde a grandes tendências, atendendo ao carácter dos valores desta variável.

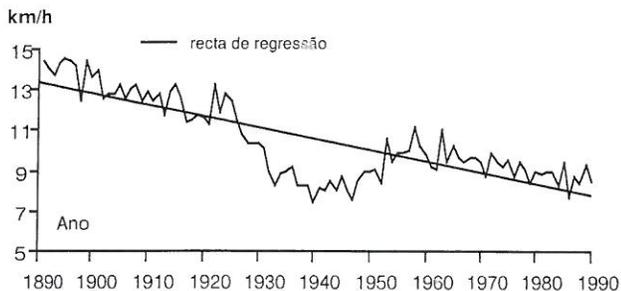


Fig. 5 - Evolução da velocidade máxima horária anual do vento em Coimbra-IGU, no período 1891-1990.

3.5. Precipitação

Os resultados do modelo de regressão aplicado às diferentes séries mensais e anual da **precipitação em nº de dias** (Quadro I), não permitem, para um intervalo de confiança de pelo menos 90%, evidenciar tendências evolutivas da variável, ao longo do tempo (1891-1990), senão para a série do mês de Janeiro e com uma margem de erro de 5%, de acordo com o valor do correspondente coeficiente de correlação (r). Neste caso, a variação teórica estimada pelo modelo (Quadro II) aponta para um aumento de 4.6 dias de precipitação nos 100 anos que constituem a série.

Tal como se concluiu da averiguação de tendências nas séries seculares do nº de dias de precipitação, também agora, para as séries seculares de **precipitação acumulada (0-24h)**, os resultados do modelo de regressão, através dos valores dos coeficientes de correlação (r) obtidos, não são significativos para um intervalo de confiança de, pelo menos, 90%, a não ser para a série do mês de Janeiro (Quadro I). O correspondente coeficiente de correlação é significativo, embora com uma margem de erro de 10%, e a variação teórica estimada pelo modelo (Quadro II) é para um aumento dos valores da variável de 47.2mm, de 1891 a 1990.

Os valores dos coeficientes de correlação obtidos pelo modelo de regressão aplicado às séries mensais e anual de **precipitação máxima em 24h** (Quadro I), não são significativos, em qualquer dos casos, para um intervalo de confiança de, pelo menos, 90%, logo, não são evidentes

tendências de aumento ou diminuição dos quantitativos máximos de precipitação acumulada em 24h, no IGU, ao longo dos 100 anos que decorrem entre 1891 e 1990.

Os resultados do modelo de regressão utilizado, para averiguação de tendências seculares (1891-1990) nas séries de **precipitação máxima em 1h** no IGU (Quadro I), através dos coeficientes de correlação (r) obtidos, só se mostraram significativos para as séries dos meses de Janeiro, Fevereiro e Dezembro, e, em cada caso, para diferentes limiares de confiança, respectivamente de 98, 90 e 95%. Então, as tendências restringem-se aos meses de Inverno, são positivas, e estimadas teoricamente pelo modelo (Quadro II) num aumento secular dos quantitativos pluviométricos máximos horários de 2.1mm em Fevereiro, 3.2mm em Janeiro e 3.4mm em Dezembro, valores com significado estatístico, mas sem grande significado real.

Em relação às tendências seculares (1891-1990) do nº de dias de **granizo ou saraiva**, os resultados do modelo de regressão simples (Quadro I), por intermédio dos coeficientes de correlação (r) obtidos, são muito significativos para a série anual, com uma margem de erro inferior a 1%, e também para a maioria das séries mensais, com margens de erro de 1% (Fevereiro, Março, Novembro e Dezembro), de 2% (Janeiro e Maio), e de 10% (Abril e Setembro), à excepção das correspondentes aos meses de Junho, Julho, Agosto e Outubro, para as quais os resultados não são estatisticamente relevantes.

As tendências teóricas estimadas pelo modelo (Quadro II), todas de sinal negativo, no sentido, portanto, de uma diminuição dos valores da variável no tempo, variam de -0.2 dias de granizo ou saraiva em Setembro, a -1.6 dias em Março, passando por -1.3 dias em Fevereiro, -1.0 dias em Dezembro, -0.9 dias em Janeiro, -0.7 dias em Novembro e -0.6 dias em Abril e Maio. A tendência anual é para uma diminuição teórica do nº de dias de granizo ou saraiva, no IGU, de 1891 a 1990, estimada em -7.0 dias, aliás bem notória quer pelo movimento da curva dos dados brutos, quer pelo declive da recta dos mínimos quadrados no gráfico da Fig. 6.

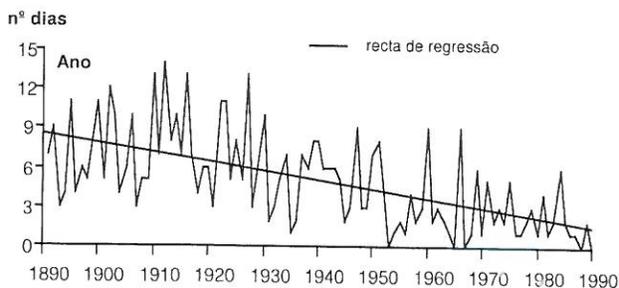


Fig. 6 - Evolução do nº anual de dias de ocorrência de granizo ou saraiva em Coimbra-IGU, no período 1891-1990.

Os resultados obtidos através do modelo de regressão aplicado às séries seculares de nº de dias de **geada ou gelo**, em função do tempo (Quadro I), através dos correspondentes coeficientes de correlação (r), excepto em Maio e Outubro, são significativos para intervalos de confiança de 90% em Novembro e Abril, de 95% em Dezembro, e altamente significativos (margem de erro inferior a 1%) para a série anual e para as séries de Janeiro, Fevereiro e Março. Todos sem excepção apresentam sinal negativo, ou seja, apontam no sentido de uma diminuição do nº de dias de ocorrência de geada ou gelo. Esta diminuição teórica, deduzida pelo modelo (Quadro II), é de 5.7 dias em Janeiro, até 0.5 dias em Abril, o que se traduz em aproximadamente 16 dias por ano. Tal tendência é francamente nítida, quer através da observação da evolução dos dados brutos ao longo do período de 1891-1990, quer através do acentuado declive da recta de regressão (Fig. 7).

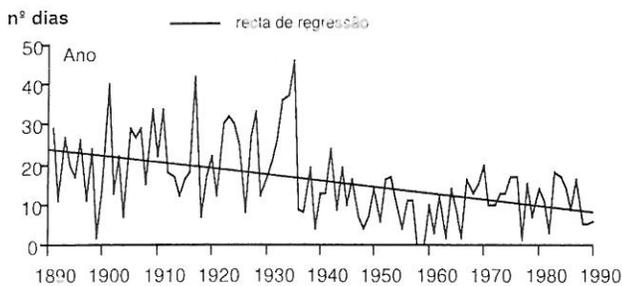


Fig. 7 - Evolução do nº de dias por ano de geada ou de gelo em Coimbra-IGU, no período 1891-1990.

4. Síntese e conclusões

No Quadro II sintetizam-se o sentido e o valor estimado pelo modelo de regressão das tendências seculares significativas para um intervalo de confiança de 90%, no período 1891-1990, das variáveis climáticas contempladas neste estudo e referentes à estação meteorológica do IGU, à escala mesoclimática (mas nunca à escala topoclimática), generalizáveis ao espaço urbano de Coimbra.

Os resultados apontam para um aumento secular da nebulosidade, anual e estival, muito significativa neste último caso, o que, não evidenciado pelos correspondentes valores de insolação e de razão de insolação, permitem pensar que este aumento da nebulosidade corresponderá a valores nocturnos, o que poderá traduzir um aumento das tão frequentes situações estivais de invasões de ar marítimo na baixa Troposfera, típicas da franja litoral da fachada atlântica da Península Ibérica a Norte de Lisboa. As causas seriam assim sinópticas e não locais. Tal facto permitiria justificar, em parte, as tendências para a diminuição estival das temperaturas mínimas, já que as mais

altas temperaturas mínimas de Verão, em Coimbra, ocorrem associadas e determinadas por circulações com trajecto continental, não obstante de fraca nebulosidade nocturna e portanto as condições fortemente irradiativas. Mais difícil de explicar, com os dados disponíveis, é a significativa tendência de diminuição das temperaturas mínimas absolutas do fim do Outono e início do Inverno.

Tanto o aumento das temperaturas máximas como das temperaturas máximas absolutas, verificado em todos os meses à excepção dos do fim da Primavera e do início do Verão, muito acentuado, especialmente no caso da segunda variável, em grande parte poder-se-á relacionar com o crescimento da cidade ao longo do tempo e consequentemente com a intensificação da ilha de calor e aumento da espessura do "domo quente" urbano, mais significativo durante o dia por acção da termoconvecção. Salva-se, no entanto, a hipótese de que uma parte destas tendências seja determinada, também, por causas extra-locais.

O aumento dos valores da humidade relativa mínima, com significado na 1ª parte do Verão, corroboraria a hipótese de um incremento das advecções peliculares marítimas de origem sinóptica, avançada para a explicação das tendências das temperaturas mínimas. Relativamente à diminuição dos valores da humidade relativa mínima no Outono e início do Inverno, a procura da sua explicação não pode dissociar-se da já apontada tendência para o aumento das temperaturas máximas, evidenciada pelo modelo de regressão, nomeadamente, também, para este período do ano.

Os resultados mais significativos deste estudo obtiveram-se para as velocidades média e máxima horária do vento: para todos os meses do ano e para as correspondentes séries anuais, as tendências estimadas apontam para uma diminuição secular das variáveis muito significativa, o que, se por um lado pode ser interpretado como consequência do crescimento urbano e da urbanização do espaço próximo da estação meteorológica, o que, por consequente aumento do atrito implica uma diminuição das velocidades dos fluxos à superfície, por outro, não exclui, também, uma eventual quota-parte de raiz sinóptica.

Já no caso da precipitação, quer em nº de dias, quer acumulada, só para o mês de Janeiro as tendências são para um aumento sensível das variáveis. O facto de aos restantes meses do ano não corresponderem resultados com significado estatístico, põe claramente em causa a influência do crescimento urbano no incremento local das precipitações, permitindo apenas pensar numa alteração secular dos regimes, quer da quantidade, quer da intensidade das chuvas inverniais, de causas sinópticas. Pelo contrário, a diminuição do nº de dias com ocorrência

de granizo ou saraiva já não permite excluir a sua relação, em parte com o aumento das temperaturas diurnas e com o consequente espessamento do "domo quente" urbano, não obstante a sua causa principal possa estar na alteração, no tempo, da estrutura termohigrométrica vertical das células convectivas que atingem a área urbana, de raiz causal regional e/ou sinóptica.

A acentuada diminuição secular, do nº de dias de ocorrência de geada ou de gelo, pode relacionar-se com a expansão urbana e consequente aumento das temperaturas mínimas inverniais, embora os resultados obtidos pelo modelo para esta última variável não permitam, com confiança dentro dos limiares considerados, estimar as suas tendências nos meses mais frios do ano.

Para todas as variáveis consideradas neste estudo, os resultados deverão ser considerados como preliminares, uma vez que apenas foi utilizado um método de análise estatística dos dados, e as hipóteses explicativas apenas como referências a considerar em estudos posteriores sobre esta temática, nos quais, para além de se conjugarem os resultados obtidos através de outras metodologias, dever-se-ão também, comparar resultados obtidos, em períodos iguais, para outras estações meteorológicas, à escala regional e territorial. Só assim a análise factual poderá ser enriquecida com a interpretação causal.

Bibliografia:

- ALCOFORADO, M. J. (1988) - *O clima da região de Lisboa - Vento, insolação e temperatura*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. 543 p.
- ALCOFORADO, M. J. (1992a) - *O Clima da Região de Lisboa - Contrastes e ritmos térmicos*. Memórias do C.E.G., Lisboa, 15, 347p.
- ARLERY, R.; GRISOLLET, H.; GUILMET, B. (1973) - *Climatologie. Méthodes et Pratiques*. Gauthier-Villars, Paris, 434p.
- GANHO, N. (1992) - "Evolução da temperatura em Coimbra - Resultados da aplicação de um modelo de regressão". *VI Colóquio Ibérico de Geografia - ACTAS*, Porto, pp. 891-901.
- GANHO, N. (1998) - *O Clima Urbano de Coimbra. Estudo de Climatologia local aplicada ao ordenamento urbano*. Trabalho apresentado à Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra para a obtenção do grau de Doutor em Geografia, I.E.G. C.E.G. Coimbra, 551p. (policopiado).
- GOMES, P. T. (1994) - *A Variabilidade Climática em Portugal Continental Durante o Século XX. Estudo estatístico da temperatura e da quantidade de precipitação*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Regional apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 207p.+ 95 figuras em Atlas anexo.
- GROUPE CHADULE (1994) - *Initiation aux Pratiques Statistiques en Géographie* (3^o ed.). Masson, 203p.
- MONTEIRO, A. (1988) - "Contribuição para o estudo das implicações no clima local gerados pela construção de uma barragem". *Revista da Faculdade de Letras*, 1 Série, 4, Porto, pp. 157-218.
- MONTEIRO, A. (1993) - *O Clima Urbano do Porto - Contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território*. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física apresentada à Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 436p.
- MORAIS, J. C. e PEREIRA, A. B. (1954) - "Clima de Coimbra. Valores anuais e normais dos principais elementos e suas variações - 1866-1953". *Revista da Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra*, 24, pp. 23-52.