

# VARIAÇÃO DO CAMPO ELÉCTRICO DA ATMOSFERA COM A METEOROLOGIA DA REGIÃO DE LISBOA ENTRE 1955-1985. ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA HUMIDADE RELATIVA DO AR.

Cláudia Serrano<sup>ab</sup>, A. Heitor Reis<sup>ab</sup>, Rui Rosa<sup>ab</sup>, Paulo S. Lucio<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Centro de Geofísica de Évora, Rua Romão Ramalho, 59, 7000-671 Évora, Portugal

<sup>b</sup>Departamento de Física, Universidade de Évora, R. Romão Ramalho, 59, 7000-671 Évora, Portugal

## **Resumo**

*Estudos realizados nas últimas décadas indicam que quase todos os fenómenos meteorológicos afectam e são afectados pelo campo eléctrico atmosférico.*

*Para a definição da componente planetária da corrente eléctrica atmosférica foram determinadas as médias horárias correspondentes a situações de bom tempo. A influência da meteorologia local no campo eléctrico pode ser inferida a partir das anomalias (ou desvios) relativamente aos valores médios horários. As variações sazonais e diurnas da componente vertical do campo eléctrico, ao nível do solo, para a estação Lisboa-Portela, entre os anos 1955-1985 são também estudadas, nas condições de bom tempo. É feita uma primeira análise da correlação entre o valor do campo eléctrico atmosférico e os respectivos valores horários da humidade relativa.*

## **Abstract.**

*According to studies realized in the last thirty years almost all meteorological phenomenon affects and are affected by atmospheric electric field. The atmospheric electric field is related to meteorological variables of the boundary layer.*

*We study the hourly anomalies of the vertical component of the near-ground fair weather atmospheric electric field recorded in the station of Portela (Lisbon) between 1955 and 1985. Climatological curves are obtained accounting for all meteorological conditions and only for fair weather. The local influences were separated from the planetary component by calculating the differences between hourly values and climatological values of the atmospheric electric field. The search for correlations between the electric field and relative humidity produced no significant results. Therefore we conclude that the direct influence of humidity upon the atmospheric electric field in the Lisbon region may be neglected.*

## **Keywords**

*Atmospheric electric field, Electric climatology, Relative humidity influence.*

## **1. INTRODUÇÃO**

A actividade eléctrica da atmosfera surge como resultado da ionização do ar e da presença do campo eléctrico resultante da actividade eléctrica planetária a que se adicionam componentes locais geradas pela fenomenologia da camada limite.

Em situações de bom tempo, o valor do campo eléctrico ao nível do solo situa-se entre 100 a 300 V/m. No entanto, este valor pode sofrer variações por causas diversas com sejam a cobertura de nuvens, poluição, turbulência atmosférica ou à precipitação. Deste modo, os parâmetros eléctricos atmosféricos de bom tempo são indicadores sensíveis de modificações no clima eléctrico planetário, o que torna as medições eléctricas atmosféricas uma fonte promissora da informação ambiental (Ruhnke e Michnowski, 1991; Harrison, 1997).

As medições do campo eléctrico atmosférico são, em geral, difíceis de interpretar porque existe uma grande variedade de factores de influência. Para uma informação mais detalhada

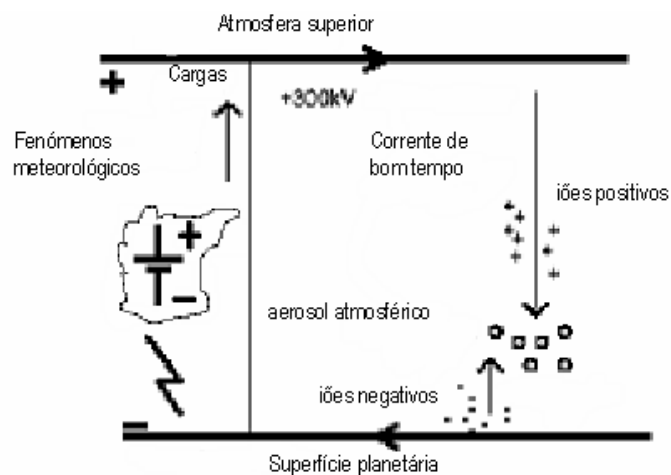
ver, por exemplo MacGorman e Rust (1998), Chalmers (1967) Israel (1973) e Harrison (2000a, 2000b) (Harrison, 2002).

O estudo aqui apresentado baseia-se em valores do campo eléctrico na estação Lisboa-Portela, entre 1955-85. Um dos objectivos do estudo é a procura de correlações entre os valores sinópticos do campo eléctrico atmosférico ao nível do solo e da humidade relativa. Para pesquisa desta correlação, a componente do campo eléctrico resultante da influência da meteorologia local é separada da componente planetária através da determinação dos desvios dos valores observados relativamente aos valores climatológicos de bom tempo do campo eléctrico local obtidas para o período 1970-85 – Curva de Carnegie local.

As anomalias ou desvios do campo eléctrico atmosférico na camada limite atmosférica relativamente á média de bom tempo, nomeadamente a poucos metros acima da superfície terrestre, resultam, em parte, de variados factores meteorológicos. A poluição do ar e a humidade relativa reduzem a condutividade do ar e aumentam o campo eléctrico. Outro factor que pode perturbar o campo eléctrico é a radioactividade artificial cuja influência também será analisada neste artigo.

## 2. O CIRCUITO ELÉCTRICO GLOBAL

O circuito eléctrico atmosférico cujo primeiro modelo foi apresentado por Wilson (1929) pode ser visto de forma simplificada como um circuito eléctrico com separação de carga entre a ionosfera e a superfície terrestre. Estas cargas transportadas pelos iões atmosféricos, positivos e negativos, são separados por efeito da fenomenologia atmosférica originando uma diferença de potencial entre a ionosfera e a superfície terrestre (electricamente negativa) da ordem de 300 KV e uma corrente total de 2000 A que flui verticalmente em toda a superfície da Terra (figura 1).



**Figura 1** – Circuito eléctrico atmosférico global (adaptado de Harrison, 1997)

No entanto, o campo eléctrico médio de bom tempo pode ser perturbado por movimentos turbulentos da atmosfera que transportam correntes eléctricas de convecção e também por outras condições meteorológicas, nomeadamente a poluição e a humidade do ar. Contudo, existem períodos em que as condições eléctricas atmosféricas são estáveis sendo o campo eléctrico designado por de bom tempo e em que a corrente eléctrica atmosférica é praticamente óhmica. Nesta situação, a lei de Ohm relaciona a condutividade do ar  $\sigma$ , a

densidade de corrente eléctrica global  $J$  e o campo eléctrico atmosférico  $E$ , como (MacGorman and Rust, 1998)

$$J = \sigma E \quad (1)$$

A condutividade eléctrica é dada por

$$\sigma = n_+ q_+ K_+ + n_- q_- K_- \quad (2)$$

onde  $n$  é a densidade de iões,  $q$  é a carga eléctrica e  $K$  representa a mobilidade. Dado que a corrente em situações de bom tempo é sensivelmente constante e composta na sua quase totalidade pela componente óhmica verifica-se que o campo eléctrico varia inversamente com a condutividade eléctrica. Como a condutividade eléctrica depende da mobilidade iónica e sendo esta fortemente influenciada por variáveis meteorológicas pode perceber-se como o campo eléctrico pode registar as influências da meteorologia local.

### 3. PRIMEIROS RESULTADOS DO ESTUDO DA CLIMATOLOGIA ELÉCTRICA DA ESTAÇÃO DA PORTELA - LISBOA

#### 3.1. Variação diurna, sazonal e diurna do campo eléctrico atmosférico

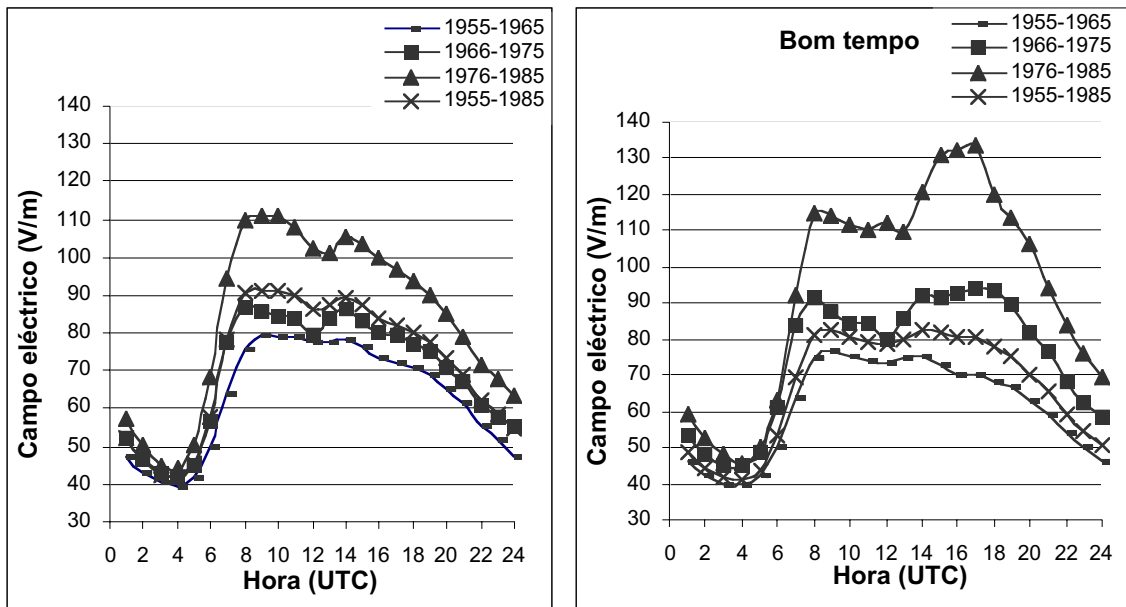
Os valores do campo eléctrico usados nesta análise são valores horários obtidos na estação da Portela (Lisboa) com um electrógrafo electromecânico (Benndorff) e publicados pelo Instituto de Meteorologia (*Boletim Geoeléctrico*). Os valores médios horários correspondentes aos períodos 1955-65, 1966-75 e 1976-85 foram comparados, estando as respectivas curvas horárias representadas na Figura 2. Em cada um destes períodos verifica-se um padrão de variação horária semelhante em que o campo eléctrico atmosférico é mínimo de manhã cedo, por volta das 4 UTC, e aumenta gradualmente depois do nascer do Sol. É notória a existência de dois máximos um deles às 9 UTC e o outro entre as 14 UTC e as 18 UTC.

O primeiro máximo é claramente devido a influências locais já que apresenta grandes anomalias neste período relativamente à curva de Carnegie. Entre as possíveis influências locais estão as inversões nocturnas de temperatura que fixam a poluição junto ao solo, a humidade e o início diário do tráfego rodoviário e aéreo. A poluição de que são parte os aerossóis em suspensão origina a depleção dos iões pequenos por combinação com iões maiores (Nagaraja, 2003), que têm uma menor mobilidade o que conduz ao aumento do campo eléctrico. O progressivo aumento da temperatura e a conseqüente convecção na camada limite reduzem progressivamente a componente local do campo eléctrico. O segundo pico poderá ser devido, em parte, ao máximo do campo eléctrico planetário que ocorre por volta das 18 horas T.U. (MacGorman and Rust, 1998). É por volta desta hora que atinge o seu máximo o conjunto de todas as influências planetárias da actividade eléctrica das tempestades da América, África, Ásia e Europa.

Comparando as curvas médias do campo eléctrico atmosférico total e a do campo eléctrico de bom tempo verifica-se que, para os períodos de 1955-65, 1966-75 e 1976-85, o campo eléctrico atmosférico de bom tempo apresenta valores médios superiores em relação ao campo eléctrico atmosférico total. A explicação deverá estar no facto de este incluir outras componentes da corrente eléctrica como sejam as correntes de precipitação e de convecção, além das correntes de descarga pontual e de descarga eléctrica.

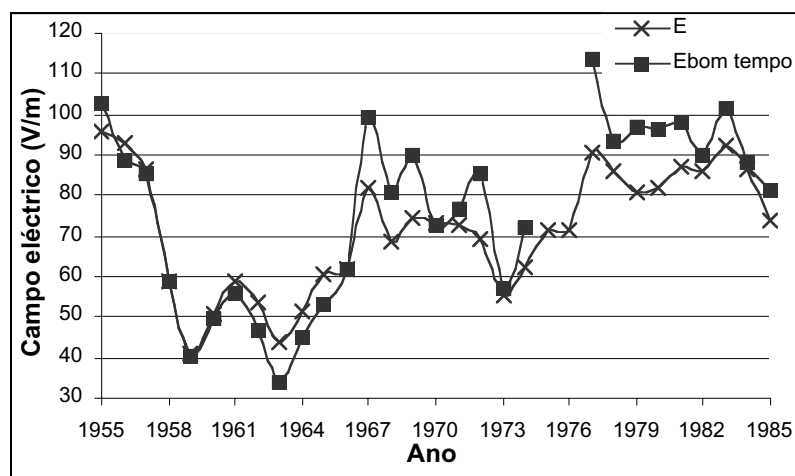
O campo eléctrico atmosférico, no período de 1976-85, apresenta valores médios superiores em relação aos períodos de 1955-65 e de 1966-75. Esta diferença poderá ser explicada como resultado de testes nucleares realizados entre 1952-1962 que originaram poeiras radioactivas que atingiram Portugal (Pierce, 1972; Lopes, 1975; Harrison, 2002). A

deposição de material radioactivo proveniente destes testes originou uma ionização adicional na atmosfera, aumentando a condutividade do ar e provocando uma diminuição do campo eléctrico atmosférico  $E = J/\sigma$  uma vez que, como já foi dito, a corrente de bom tempo é praticamente constante.



**Figura 2** – Variação média diurna do campo eléctrico atmosférico (actividade eléctrica global mais perturbações locais) e variação média diurna do campo eléctrico de bom tempo para os períodos 1955-65, 1966-75, 1976-85 e 1955-85.

A Figura 3 mostra uma série de medições de tempo anual do campo eléctrico atmosférico, para a estação de Portela no período 1955 a 1985. É notória a diminuição do campo eléctrico entre 1955 e 1959. Esta diminuição foi observada por quase toda a Europa e foi explicada por diversos autores (Pierce, 1972; Harrison, 2002). Pierce (1972) mostrou que a diminuição do campo eléctrico foi proporcional à frequência e magnitude de testes nucleares ocorridos. Os testes realizados com explosões na atmosfera cessam no final de 1962, e o campo eléctrico sofre um aumento até ao final da década.



**Figura 3** – Variação média anual do campo eléctrico atmosférico global e variação média anual do campo eléctrico de bom tempo para o período 1955-85.

A Figura 4 representa a variação média diurna do campo eléctrico atmosférico e do campo eléctrico de bom tempo para as estações do ano no período de 1955-85. A análise comparativa das situações de inverno, de verão, de primavera e de outono permitem verificar que os dois máximos relativos do campo eléctrico, o primeiro entre as 8 e as 10 UTC e o segundo entre as 14 e as 18 UTC observados para o campo médio anual (Figura 2) ocorrem em todas as estações do ano

No Inverno e no período entre as 4 e as 10 UTC, o valor máximo do campo eléctrico atmosférico em todas as situações e também nas de bom tempo, deverá estar relacionado com a inversão nocturna da temperatura que mantém a poluição junto ao solo, desfavorecendo a difusão vertical da poluição e afectando de forma significativa o processo de dispersão, o que se traduz numa menor condutividade dos iões atmosféricos e no conseqüente aumento do valor do campo eléctrico atmosférico.

No período entre as 4 e as 10 UTC, tanto na Primavera como no Verão e em situações de bom tempo, o campo eléctrico apresenta um valor inferior ao campo eléctrico médio destas duas estações o que poderá ser explicado pela existência das brisas marítimas que transportam pequenos iões e aumentam a condutividade do ar, para além de que a corrente de convecção que lhes está associada deverá apresentar algum peso relativamente à corrente óhmica.

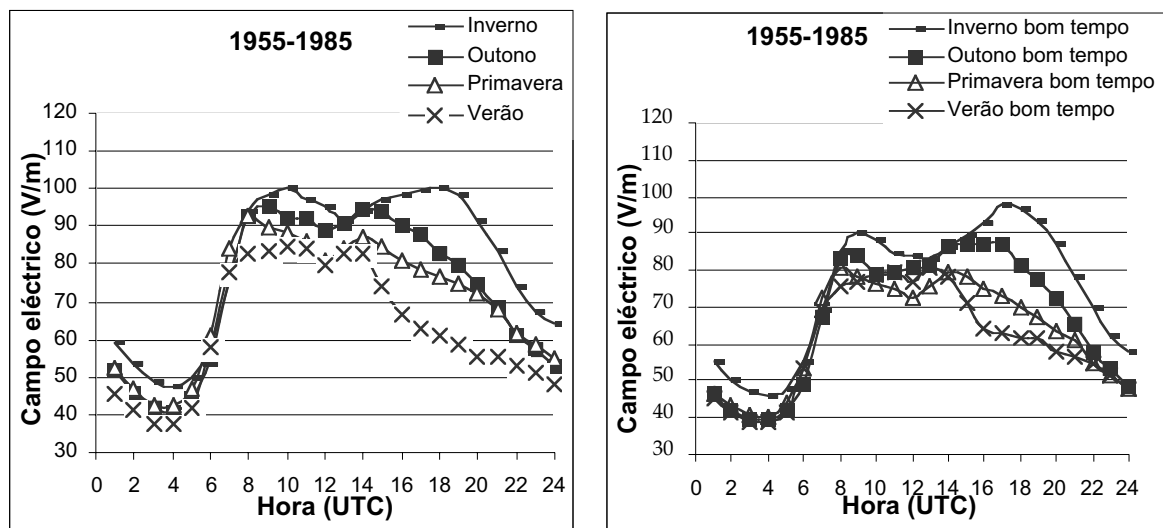


Figura 4 – Variação média diurna do campo eléctrico atmosférico e variação média do campo eléctrico de bom tempo para as estações do ano, para o período 1955-85.

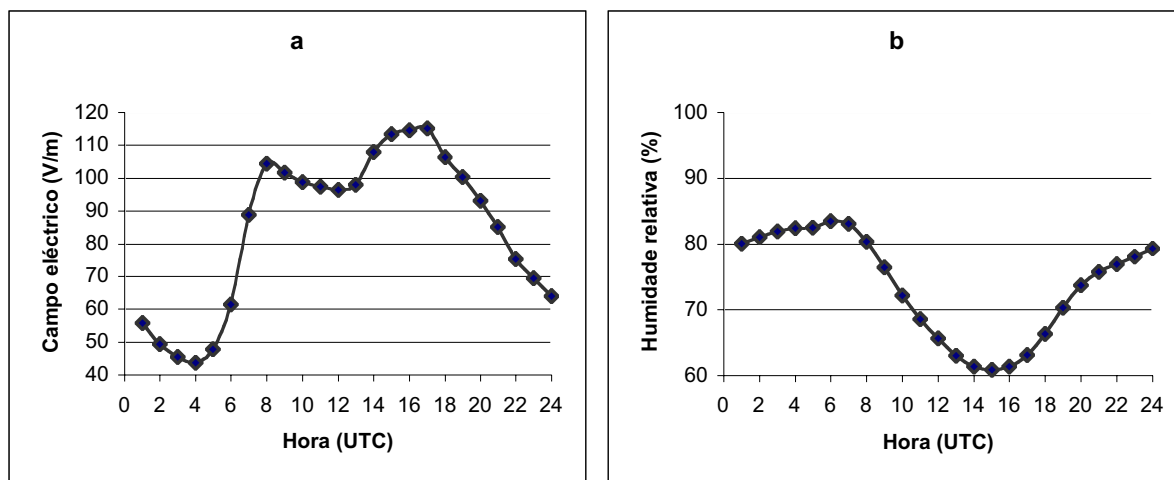
### 3.2. Influência da humidade relativa no campo eléctrico atmosférico de bom tempo

Para examinar a possível influência da humidade relativa no ciclo diurno do campo eléctrico atmosférico para a situação de bom tempo, procedeu-se à determinação da componente local pelo cálculo das anomalias do valor sinóptico do campo eléctrico em situação de humidade relativa superior a 80% e inferior a 98% relativamente aos valores médios do campo em situação de humidade relativa inferior a 80%:

$$\Delta E = E_{H\ 0.80 \leq H \leq 0.98} - \langle E_{H < 0.8} \rangle \quad (3)$$

Foi analisada a correlação dos valores sinópticos de  $\Delta E$  com os da humidade relativa para  $0.80 \leq H \leq 0.98$  e para o intervalo das 4 às 9 UTC, no período de 1970 a 1985. Este intervalo foi escolhido pelo facto de a humidade relativa ser um dos factores meteorológicos que podem

explicar o comportamento do campo neste período, em conjugação com a evolução da curva da humidade relativa no mesmo período como pode ser observado na Figura 5.



**Figura 5** – a) Variação média diurna do campo eléctrico atmosférico de bom tempo, para o período 1970-85. b) Variação média horária da humidade relativa, para o período 1970-85.

Comparando as curvas (Figura 5a) e (Figura 5b), verifica-se que existe um aumento tanto do campo eléctrico atmosférico de bom tempo como da humidade relativa, para o intervalo das 4 às 9 UTC que se conjuga com o facto de o valor médio da humidade relativa, no mesmo intervalo se situar acima de 80%, sendo este o valor de referência. Este valor foi fixado tendo em conta que o crescimento higroscópico dos aerossóis ocorre normalmente a partir de valores da humidade relativa superiores a 75% (Pruppacher and Klett, 1997).

A contribuição da humidade relativa para a anomalia do campo eléctrico atmosférico é estatisticamente significativa apenas para as 8 UTC, como se pode verificar na Tabela I, em que o valor da correlação sugere que a anomalia do campo eléctrico atmosférico e a humidade relativa estejam directamente correlacionados. O teste de hipóteses aqui realizado foi o de Correlação de Pearson:  $H_0: r = 0$  versus  $H_1: r \neq 0$ , onde  $r$  é a correlação entre dois pares de variáveis. O *p*-valor é o nível de significância empírico de um teste de hipóteses; deve-se rejeitar a hipótese nula se o *p*-valor for inferior ao nível de significância, adoptado neste caso como 5%.

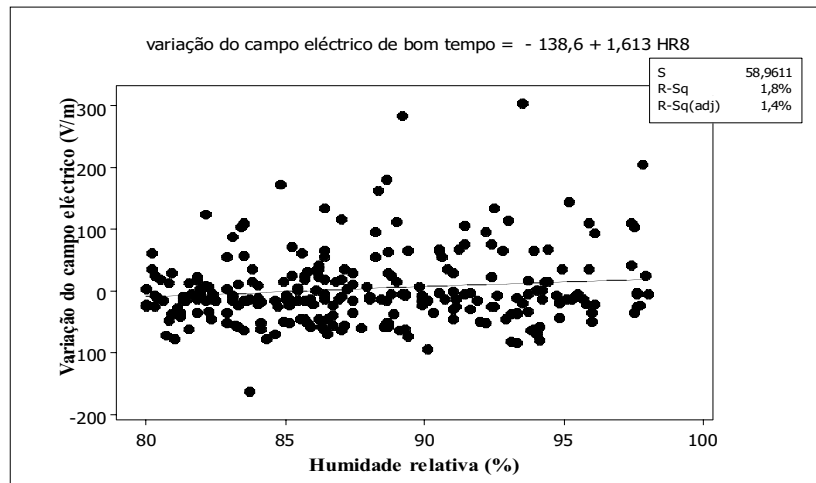
HORA	Coefficiente de Correlação	p-valor
4	0,054	0,332
5	- 0,032	0,562
6	- 0,012	0,825
7	0,007	0,894
<b>8</b>	<b>0,134</b>	<b>0,033</b>
9	0,055	0,456

**Tabela I** – Coeficientes de correlação da variação do campo eléctrico atmosférico com a humidade relativa, no período 1970-85, para diferentes horas (4-9 UTC).

A Figura 6 mostra um aumento, relativamente pequeno, da anomalia do campo eléctrico atmosférico com a humidade relativa. O valor de  $R^2$  para as duas variáveis reforça o que se referiu anteriormente.

A anomalia do campo eléctrico de bom tempo está correlacionada positivamente com a humidade relativa às 8 UTC, o que significa que o campo eléctrico atmosférico aumenta com a humidade relativa. Este efeito resulta da redução da mobilidade dos iões na troposfera

devido à condensação de vapor de água nos iões e ao consequente crescimento higroscópico destes. No entanto, a influência directa da humidade relativa no valor do campo eléctrico da região de Lisboa é relativamente fraca e pode ser praticamente ignorada. Uma conclusão similar foi obtida por Retalis et. al. 1991) num estudo feita na região de Atenas, onde foi igualmente observada uma fraca correlação negativa entre a condutividade eléctrica da atmosfera (correlação positiva para o campo eléctrico) com o aumento de humidade relativa.



**Figura 6** – Variação do campo eléctrico atmosférico em função da humidade relativa, no período de 1970 a 1985, para situações de bom tempo e para humidades relativas compreendidas entre 80% a 98%

Inversamente, Kamra et al. (1997) encontraram uma forte correlação negativa entre a condutividade eléctrica do ar marítimo no oceano Índico e do mar Arábico com valores da humidade relativa do ar superiores a 75-80%.

#### 4. CONCLUSÕES

A análise preliminar do comportamento do campo eléctrico atmosférico na região de Lisboa permite concluir que aconteceu uma acentuada diminuição do campo eléctrico atmosférico, entre 1955-62. A radioactividade artificial proveniente dos testes nucleares na atmosfera é a causa mais plausível para esta diminuição do campo. Um comportamento similar foi registado nos observatórios ingleses de Kew e Eskdalemuir tendo a causa sido também atribuída à radioactividade artificial (Harrison, 2003).

No que respeita à existência de correlações entre a meteorologia local e o campo eléctrico observado na região de Lisboa foram identificadas várias componentes da meteorologia local que poderão influenciar o campo eléctrico observado. Entre estas componentes estão, a humidade relativa, as inversões de temperatura, as brisas marítimas e a poluição local. A influência directa da humidade relativa, no período 1970-85, no valor do campo eléctrico atmosférico de bom tempo é fraca e pode ser ignorada. O único indício estatisticamente significativo, embora fraco, foi identificado nos valores das 8 UTC.

É necessário estudar a influência de outras componentes de forma a determinar a sua real contribuição para o valor do campo eléctrico atmosférico. Nas situações de bom tempo estudados, a influência da humidade relativa do ar poderá estar mascarada pela influência da turbulência da camada limite que reduz significativamente o campo eléctrico. Esta influência será objecto de um próximo estudo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Meteorologia a disponibilização dos registos das observações do campo eléctrico atmosférico utilizadas neste trabalho. Estas observações foram recolhidas durante décadas pelo Prof. Mário Figueira cujo trabalho permitiu a recolha destas longas séries de registos e que Portugal figure na restrita lista de países onde tais observações foram efectuadas.

## REFERÊNCIAS

- Barlow, J. F.; Harrison, R. G., 1998: "Turbulent of charged aerosol in the atmospheric surface layer", *J. Aerosol Sci* **29**, S1, ppS1019-1020.
- Harrison, R. G., 1997: "Climate change and the global atmospheric electrical system", *Atmos. Environ.*, **31**, 20, 3483-3484.
- Harrison, R. G., 2002: "Twentieth Century Atmospheric Electrical Measurements at the observatories of Kew, Eskdalemuir and Lerwick", *Weather*, **58**, 11-19.
- Israelsson, S.; Tammet, H., 2001: "Variation of fair weather atmospheric Marsta", *J. of Atm. and Solar - Terrestrial Phys.* **63**, 1693-1703.
- Kamra, A.; Deshpande, C.; Gopalakrishnan, V., 1997: "Effect of Relative Humidity on the Electrical Conductivity of Marine Air", *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **123**, 1295-1305.
- Lopes, J. et al., 1975 : "Variação do teor em C-14 de 1950 a 1974 em vinhos do Douro", *Agronomia Lusit.*, **36**, 3, 223-234.
- MacGorman, D. R.; Rust, W. D., 1998: "*The Electrical Nature of Storms*", D. Oxford Univ. Press, Ch. 2.
- Magono, C., 1980: *Thunderstorms*, 261, Elsevier, Sci., Amsterdam.
- Nagaraja, K.; Prasad, B.; Srinivas, N.; Madhava, M. S., 2003: " Electrical Conductivity near the Earth's Surface: Ion – Aerosol Model", *Proc. Int. Conf. On Atmospheric Electricity ICAE 03*.
- Pierce, E, 1972: "Radioactive Fallout and Secular Effects in Atmospheric Electricity", *J. Geophysical Research* **77**, 482-487.
- Pruppacher, H. R.; Klett, J. D., 1997: "*Microphysics of Clouds and Precipitation*", Kluwer Academic, Mass.
- Retalis, D.; Pitta, A.; Psallidas, P., 1991: "The Conductivity of the Air and Other Electrical Parameters in Relation to Meteorological Elements and Air Pollution in Athens", *Meteorol. Atmos. Phys.* **46**, 197-204.
- Ruhnke, L. H.; Michnowski, S., 1991: *Proc. Int. Workshop on Global Atmospheric Electricity Measurements*, Madralin, Poland, September 10-16, 1989. Publications of the Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences D-35 (238)
- Rust, W. D.; Moore, C. B., 1974: "Electrical conditions near the bases of thunderclouds over New Mexico", *Q. J. Roy. Meteor. Soc.* **100**, 450-468.
- Tripathi, S. N.; Harrison, R. G., 1998: "Dry deposition of electrically charged aerosols", *J. Aerosol Sci* **29**, S1, pp S809.