

# **Análise estatística comparativa das condições meteorológicas de nevoeiro, temperatura e umidade relativa do ar em Pirassununga – SP<sup>1</sup>**

*Comparative statistical analysis of the meteorological conditions of fog, average temperature and humidity in Pirassununga - SP<sup>1</sup>*

*Análisis estadística comparativa de las condiciones meteorológicas de niebla, temperatura y humedad relativa del aire en Pirassununga – SP<sup>1</sup>*

Rosângela de Oliveira Colabone, Doutora  
Academia da Força Aérea - AFA  
Pirassununga/SP - Brasil  
rocolabone@uol.com.br

Laércio Aparecido Lucas, Doutor  
Academia da Força Aérea - AFA  
Pirassununga/SP - Brasil  
laercio.lap@gmail.com

Antonio Luiz Ferrari, Doutor  
Academia da Força Aérea - AFA  
Pirassununga/SP - Brasil  
aferrarinho@yahoo.com.br

César Gonçalves de Lima, Doutor  
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - USP  
Pirassununga/SP - Brasil  
cegdlima@usp.br

Francisco Arthur da Silva Vecchia, Doutor  
Escola de Engenharia de São Carlos - USP  
São Carlos/SP - Brasil  
fvecchia@sc.usp.br

Recebido / Received / Recebido  
02/04/13

Aceito / Accepted / Acepto  
27/08/13

<sup>1</sup> Resumo publicado em anais de Congresso. In: Conferência de Estatística Indutiva, 2011, Universidade Federal de São Carlos – São Carlos/SP.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é comparar os dados anuais das variáveis meteorológicas nevoeiro, temperatura média e umidade relativa do ar, do período entre 1989 e 2008, com os dados dessas variáveis para os meses de abril, maio, junho e julho em Pirassununga-SP. As estratégias para obtenção dos resultados dessa comparação levam a uma abordagem interdisciplinar do problema e envolvem o cálculo de elementos da estatística descritiva, tais como gráficos, ajuste de curvas de regressão polinomial e testes não paramétricos. A importância de relacionar essas variáveis ocorre em diversas circunstâncias como na previsão para ocorrência de nevoeiros em estradas e aeródromos, no planejamento de atividades de voo; e, no contexto da agricultura, contribui para a definição de políticas públicas no combate a pragas que se beneficiam das tendências de mudanças dessas variáveis.

**Palavras-chave:** Tendência. Regressão. Mann-Kendall. Método de Sen.

## ABSTRACT

*The goal of the present work is to compare the anual data, from 1989 to 2008, for the meteorological variables fog, average temperature and humidity, with the data of these variables for the months of April, May, June and July, in Pirassununga-SP. The strategies employed represent an interdisciplinary approach to the problem while involving elements of descriptive statistics, graphics, data-fitting with polynomial regression, and non-parametric statistics. The relevance of interrelating these variables relies on a number of scenarios such as forecasting fogs in roads and aerodromes, planning flight activities and, in the context of agriculture, providing a guideline for public policies to fight plagues which benefit from the variability and trends of such variables.*

**Keywords:** *Tendency. Regression. Mann-Kendall. Sen Method.*

## RESUMEN

*El objetivo de este trabajo es comparar los datos anuales de las variables meteorológicas niebla, temperatura media y humedad relativa del aire, del periodo entre 1989 y 2008, con los datos de esas variables para los meses de abril, mayo, junio y julio en Pirassununga-SP. Las estrategias para obtención de los resultados de esa comparación llevan a un abordaje interdisciplinar del problema y envuelve el cálculo de elementos de la estadística descriptiva, tales como gráficos, ajuste de curvas por regresión polinomial y test no paramétricos. La importancia de relacionar esas variables ocurre en diversas circunstancias como en la previsión para ocurrencia de nieblas en carreteras y aeródromos, en el planeamiento de actividades de vuelo; y, en el contexto de la agricultura, contribuye para la definición de políticas públicas en el combate a plagas que se benefician de las tendencias de cambios de esas variables.*

**Palabras-clave:** *Tendencia. Regresión. Mann-Kendall. Método de Sen.*

---

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e suas consequências de âmbito social, ambiental e econômico vêm causando grandes preocupações no meio científico-acadêmico desde meados do século passado, quando o clima começou a apresentar uma tendência acentuada de variação, principalmente em relação à temperatura, cuja média global apresentou um provável aumento variando de 0,3°C e 0,7°C segundo o *Intergovernmental Panel On Climate Change* (2013).

O interesse em estudar as variáveis meteorológicas em aeródromos, principalmente

o fenômeno de nevoeiro e a precipitação, está na necessidade de se obter, com antecedência, informações sobre as condições de clima em escala local, para modificações, se necessário, no planejamento das atividades de voo. No contexto da agricultura, estudos de variáveis meteorológicas vêm sendo desenvolvidos para estabelecimento de alguma relação entre o clima e a incidência de doenças ou pragas, que surgem em determinadas épocas do ano (PEDRO JÚNIOR; PEZZOPANE; MARTINS, 1999). Os conceitos das variáveis meteorológicas empregados nesse trabalho podem

ser encontrados, por exemplo, no Instituto de Controle do Espaço Aéreo (BRASIL, 2008). Para o Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA, caracteriza-se a formação de nevoeiro quando a visibilidade predominante for reduzida, para menos de 1.000 metros (MCA 105-2, 2011).

A estratégia para se chegar aos resultados requer conhecimentos interdisciplinares de Meteorologia, Estatística, além do emprego de aplicativos computacionais apropriados para realização das análises comparativas, bem como das tendências e variabilidades ao longo da série histórica. Foram comparados estatisticamente dados anuais das condições de nevoeiro, temperatura e umidade com as mesmas variáveis medidas para os meses de abril (A), maio (M), junho (J) e julho (J) anuais, no período de 1989-2008, porque esses atributos climatológicos são considerados mais representativos e significativos em relação à localidade escolhida, principalmente, a variável nevoeiro (COLABONE; VECHIA; FERRARI, 2010).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para se estudar a relação entre ocorrência de nevoeiros com a temperatura e a umidade relativa no município de Pirassununga – SP, foram utilizados os dados de uma série temporal de 20 anos (1989 a 2008), fornecidos pela estação meteorológica localizada no aeródromo da AFA – Academia da Força Aérea de Pirassununga- SP (latitude 21°59′07″S, longitude 47°20′06″W e altitude de 600 m). Um estudo sobre as tendências e variabilidade anuais de temperatura para a série histórica de 1976-2008 em Pirassununga pode ser encontrado em Ferrari (2012), ao passo que para incidência de nevoeiro, ver Colabone (2011).

Inicialmente fez-se uma análise exploratória dos dados brutos relativos à pluviosidade, umidade relativa do ar e ocorrência de nevoeiro, tendo sido calculados a média, o desvio padrão, os coeficientes de variação, de assimetria e de curtose. Foram construídas tabelas, gráficos, feito o cálculo dos coeficientes de determinação  $R^2$ , simulações, regressões e modelos ajustados aos dados e posterior apresentação de gráfico com modelo ajustado. O Método dos Mínimos Quadrados, regressões e modelos ajustados, bem como as fórmulas aqui utilizadas podem ser encontrados em Morettin e Bussab (2004).

O termo tendência é entendido, aqui, como uma alteração, podendo significar aumento ou diminuição lenta dos valores médios da série de dados analisados no período de registro. Nas análises das tendências foram considerados os dados de uma série com totais anuais, sendo os dados submetidos ao teste não-paramétrico de Mann-Kendall, proposto inicialmente por Sneyers (1975). Para maiores detalhes sobre a metodologia ver Kendall (1975) e Gilbert (1983). Segundo Goossens e Berger (1986) o teste de Mann-Kendall é o método mais apropriado para análise de mudanças climáticas em séries, pois permite detectar o ponto inicial de determinada mudança sem que os dados necessitem pertencer a uma distribuição particular. Aplicações do teste de Mann-Kendall podem ser encontradas em Moraes *et al.* (1995), Back (2001), Huang *et al.* (2004), Marengo *et al.* (2005) e Campos e Ruivo (2009).

A estimativa da magnitude das tendências pode ser calculada como o coeficiente angular da equação da reta de regressão, que relaciona as variáveis estudadas. Mas esse coeficiente pode desviar-se muito do valor real da inclinação da reta, se na série de dados existirem valores extremos (GILBERT, 1983). Então, para se obter a inclinação das tendências da série, o procedimento utilizado é o Método de Sen (SEN, 1968), estendido por Hirsch e Slack (1984). Com o Método de Sen, obtém-se uma estimativa da inclinação que indica uma possível tendência na série temporal. Ela é obtida pelo cálculo dos pares de valores da série  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , aplicando-se a Equação 1 abaixo:

$$S_e = \frac{x_j - x_i}{j - i} \quad (1)$$

onde,  $1 \leq i < j \leq n$ ,  $S_e$  é o valor estimado do coeficiente angular da reta  $f(t) = \beta + S_e t$  ou seja, é o acréscimo ou decréscimo em  $f(t)$  correspondente ao aumento de uma unidade em  $t$ . O teste de Sen possibilita identificar a existência, ou não, de mudança de tendência e a magnitude na série, sendo muito utilizado para se encontrar a magnitude da variável em estudo (CAMPOS; RUIVO, 2009).

Para realizar a análise estatística da tendência e magnitude dos dados, foram utilizados os aplicativos Matlab, Statistica e BioEstat 3.0.

**Tabela 1:** Estatísticas descritivas da ocorrência das condições meteorológicas de Nevoeiro (N), medida em dias, Temperatura média (T), em ( C), e Umidade relativa média (U), adimensional, no período de 1989-2008 e a média das mesmas variáveis nos meses de abril, maio, junho e julho (AMJJ).

Medida	Valores médios	DP	CV(%)	Assimetria	Curtose
N (dia)	40,45	10,318	25,51	0,1824	0,6394
T ( C)	22,78	0,651	2,86	-1,1410	2,0131
U (adimensional)	68,05	2,838	4,17	0,4360	-0,4286
N AMJJ (dia)	27,45	6,468	23,56	-0,4521	0,8507
T AMJJ ( C)	20,15	0,785	3,90	-0,9808	1,6827
U AMJJ(adimensional)	68,33	3,793	5,55	0,1934	-0,8477

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra que o número médio de dias com nevoeiro (N) no período de 1989-2008 foi superior ao dos meses de abril, maio, junho e julho (N AMJJ). Entretanto, as médias de temperatura e de umidade tiveram valores próximos nos dois períodos. Comportamento similar tiveram as medidas de variabilidade – desvio padrão (DP) e coeficiente de variação CV(%).

Em relação à assimetria, todas as séries são classificadas como assimétricas, sendo assimétricas à direita, quando apresentam o coeficiente do momento de assimetria  $a_3 > 0$ , e quando  $a_3 < 0$  assimétrica à esquerda. Os dias com nevoeiro apresentam comportamentos distintos, com assimetria positiva para os dados anuais e negativa para os dados dos meses de abril, maio, junho e julho (AMJJ).

Em relação à curtose, todas as distribuições são classificadas como platicúrticas, quando  $a_4 < 3$  três.

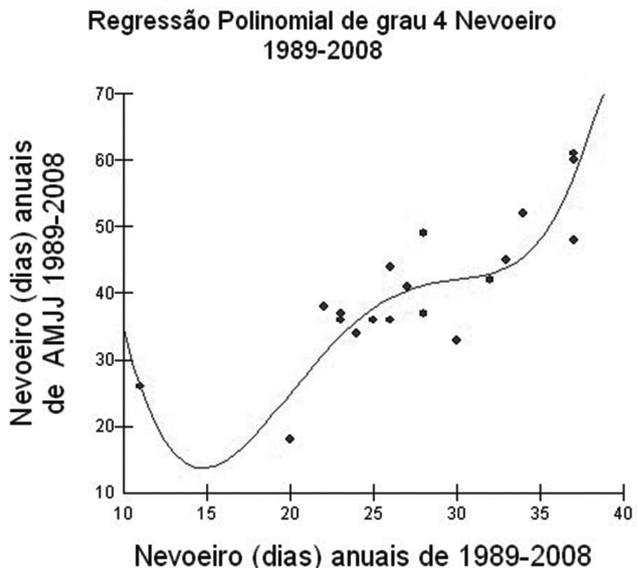
#### 3.1 Simulações, regressões e modelos ajustados aos dados das variáveis

Para explicar o comportamento dos dias de nevoeiros anuais, variável dependente Y, nos meses AMJJ, com os dias de nevoeiros anuais de 1989-2008, variável independente X, aplicou-se o Método dos Mínimos Quadrados. Um melhor resultado na comparação entre os períodos de nevoeiros anuais e nos meses de AMJJ foi obtido pelo ajustamento dos dados ao modelo de regressão polinomial de grau 4,

$$Y = 396,7784 - 1,8389X + 1,8596X^2 - 0,1361X^3 + 0,0014X^4$$

com coeficiente de determinação igual a  $R^2=76,36\%$ .

Isso significa que os 76,36% da variação dos dias de nevoeiros anuais de AMJJ são explicados pela variação dos dias de nevoeiros anuais. Os 24% restantes são inexplicados e devem-se ao acaso ou a outras variáveis que interferem no local. O gráfico dessa equação é



**Figura 1** - Curva de regressão polinomial para nevoeiros anuais e nevoeiros anuais de AMJJ.

#### 3.2 Análises das tendências e das estimativas

Os resultados das análises das tendências das variáveis de nevoeiro, temperatura e umidade relativa do ar de Pirassununga no período de 1989-2008 foram obtidos no Matlab.

**Tabela 2** - Análise Estatística das Variáveis Meteorológicas ( $\alpha=5\%$ ).

Estatísticas	Variáveis Meteorológicas					
	Nevoeiros Anuais (dias)	Nevoeiros AMJJ (dias)	Temperaturas Médias Anuais ( C)	Temperaturas Médias AMJJ ( C)	Umidades Anuais (%)	Umidades AMJJ (%)
Escore Z	-0,4565	-0,0978	-0,2920	-1,2684	0,6813	1,3966
MannKendall	-0,0789	-0,0221	-0,0526	-0,2105	0,1158	0,2316
Curvat.Sen	-0,1909	0,0000	-0,0061	-0,0408	0,0665	0,2267
Prob. (p)	0,6480	0,9221	0,7703	0,2046	0,4957	0,1625

Para os dias de nevoeiro anuais e nos meses AMJJ há uma tendência de diminuição (-0,0789 e -0,0221, respectivamente), mas estatisticamente não significativas ( $p\text{-valor}>0,05$ ). Comportamento similar observa-se para as temperaturas, que apresentam tendências decrescentes, mas não significativas ( $p\text{-valor}>0,05$ ). Para os dados de umidade, tem-se um comportamento diferente, com tendências crescentes, (de 0,1158 e 0,2316) respectivamente, mas também estatisticamente não significativas.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho analisou, estatisticamente, o comportamento do fenômeno do nevoeiro, da temperatura média e da umidade relativa do ar anuais comparando-os com as mesmas variáveis para os meses de abril, maio, junho e julho (AMJJ), por considerar que esses atributos são os mais representativos e significativos em relação à localidade escolhida, principalmente, o fenômeno do nevoeiro, como estudado por Colabone, Vechia e Ferrari (2010).

Na seção 3.1, as análises das regressões foram importantes para constatar que os dias

de nevoeiro, temperatura e umidade relativa dos meses Abril, Maio, Junho e Julho (AMJJ) explicam, aproximadamente, 70% das mesmas variáveis anuais e que a regressão linear é útil em alguns casos. Das simulações realizadas, a regressão polinomial de grau quatro como acima é a melhor indicada para aferição dos dados devido a seu coeficiente de determinação mais próximo do valor um.

Na seção 3.2, é possível observar uma tendência à estabilidade do fenômeno de nevoeiro, temperatura e umidade.

A importância de se relacionarem essas variáveis está na possibilidade de se prever a ocorrência de nevoeiros em estradas e aeródromos, para planejamento de atividades de voo e auxílio na definição de políticas públicas para a agricultura no combate de doenças ou pragas que podem ocorrer com a variabilidade e tendências dessas variáveis. Uma pesquisa envolvendo outras variáveis meteorológicas, tais como, temperaturas mínimas, e um período maior para a série histórica poderá contribuir com resultados ainda mais robustos.

## REFERÊNCIAS

BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, 2001.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. CINDACTA II. Manaus, 2011. Disponível em: <[www.cindacta2.aer.mil.br](http://www.cindacta2.aer.mil.br)>. Acesso em: 11 ago. 2011.

CAMPOS, I. B. P.; RUIVO, B. C. Análise da tendência climática para a cidade de Corumbá, Mato Grosso do Sul. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIA. 2., 2009, [S.l.], **Anais...** [S.l.] : EMBRAPA, 2009. p. 90-98.

COLABONE, R. O.; VECHIA, F. A. S.; FERRARI, A. L., Tipos de tempo e incidência de nevoeiro no aeródromo da Academia da Força Aérea: Pirassununga-SP: análises preliminares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 9. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2010.

COLABONE, R. O. **Nevoeiro e dinâmica atmosférica**: uma contribuição ao estudo sobre ocorrências de nevoeiro no aeródromo na Academia da Força Aérea: Pirassununga-SP. 2011. 122 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental)–Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2011.

FERRARI, A. L. **Variabilidade e tendência da temperatura e pluviosidade nos municípios de Pirassununga, Rio Claro, São Carlos e São Simão (SP)**: estudo sobre mudança climática de curto prazo em escala local. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental)–Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2012.

GILBERT, R. O. **Statistical methods for environmental pollution monitoring**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1983.

GOOSSENS, C; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, Berlin, v. 4, n. 4, p. 385-400, 1986.

HIRSCH, R.M.; SLACK, J. R. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. **Water Resources Research**, v. 20, n. 6, p. 727-732, June, 1984.

HUANG, M.; ZHANG L. Hydrological responses to conservation practices in a catchment of the Loess Plateau, China. **Hydrological Processes**, v. 18, p. 1885-1898, 2004.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2013: Impacts, adaptation and vulnerability: working group II: TAR: summary for policymakers**. Disponível em: <[http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5-SPM\\_Approved27Sep2013.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5-SPM_Approved27Sep2013.pdf)>. Acesso em: 07 out. 2013.

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. London: Charles Griffin, 1975.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Tendências hidrológicas da Bacia do Rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 2, p. 215-226, 2005.

MORAES, J. M. *et al.* Estudo preliminar da evolução temporal dos componentes do ciclo hidrológico da bacia do Rio Piracicaba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1995, Recife. **Anais...** Recife: ABRH, 1995.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística básica**. São Paulo: Atlas, 2004.

PEDRO JÚNIOR, M. J.; PEZZOPANE, J. R. M.; MARTINS, F. P. Uso da precipitação pluvial para previsão de épocas de pulverização visando controle de doenças. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 107-111, 1999.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendalls's tau. **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, p. 1379-1389, 1968.

SNEYERS, R. **Sur l'analyse statistique des series d'observations**. Genève: Organisation Météorologique Mondial, 1975.