

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 35

ISSN 1679-0154
Dezembro, 2011

Caracterização Climática das Séries Temporais de Temperatura e Precipitação Pluvial em Sete Lagoas, MG



ISSN 1679-0154

Dezembro, 2011

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 35

Caracterização Climática das Séries Temporais de Temperatura e Precipitação Pluvial em Sete Lagoas, MG

Williams Pinto Marques Ferreira
Cecília de Fátima Souza

Embrapa Milho e Sorgo
Sete Lagoas, MG
2011

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Rod. MG 424 Km 45

Caixa Postal 151

CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG

Fone: (31) 3027-1100

Fax: (31) 3027-1188

Home page: www.cnpms.embrapa.br

E-mail: sac@cnpms.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Antônio Carlos de Oliveira

Secretário-Executivo: Elena Charlotte Landau

Membros: Flávio Dessaune Tardin, Eliane Aparecida Gomes, Paulo Afonso Viana, João Herbert Moreira Viana, Guilherme Ferreira Viana e Rosângela Lacerda de Castro

Revisão de texto: Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica: Rosângela Lacerda de Castro

Tratamento de ilustrações: Tânia Mara Assunção Barbosa

Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa

Foto(s) da capa: Williams Pinto Marques Ferreira

1ª edição

1ª impressão (2011): on line

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Milho e Sorgo**

Ferreira, Williams Pinto Marques

Caracterização climática das séries temporais de temperatura e precipitação pluvial em Sete Lagoas, MG / Williams Pinto Marques Ferreira, Cecília de Fátima Souza -- Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2011.

33 p. : il. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679- 0154; 35).

1. Clima. 2. Umidade. 3. Temperatura. I. Souza, Cecília de Fátima. II. Título. III. Série.

CDD 551.6 (21. ed.)

© Embrapa 2011

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	9
Resultados e Discussão	13
Conclusões	30
Referências	30

Caracterização Climática das Séries Temporais de Temperatura e Precipitação Pluvial em Sete Lagoas, MG

Williams Pinto Marques Ferreira¹

Cecília de Fátima Souza²

Resumo

As incertezas sobre as impactos decorrentes das novas características do clima global e regional são fatos reais. Segundo o IPCC são decorrentes da variabilidade natural e, ou, atividades humanas, incluindo assim, as práticas agrícolas, que são atividades humanas fundamentais para a sobrevivência, e são dependentes do conhecimento da distribuição dos principais elementos meteorológicos. Desta forma, objetivou-se com o presente trabalho a identificação da tendência assim como os valores médios e extremos da temperatura do ar e da distribuição da precipitação total anual para a localidade de Sete Lagoas em Minas Gerais. Importante consideração foi dada a decomposição da precipitação média mensal nas suas componentes harmônicas a fim de definir um modelo a partir daquelas componentes com maior representatividade capaz de subsidiar estudos sobre mudança climática, bem como facilitar o planejamento das atividades agrícolas da região. Foi então utilizada a série de dados do ano 1930 até 2010, da Estação Meteorológica Convencional pertencente ao INMET, que está localizada no interior da área da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG. Com

¹Meteorologista, Doutor, Pesquisador da Embrapa Café, Vila Giannetti, Casa 46, Campus UFV, CEP: 36570-000 Viçosa, MG, williams.ferreira@embrapa.br

²Engenheira Agrícola, PhD, Professora da Universidade Federal de Viçosa, Av. Ph Rolfs s/n, Campus UFV, CEP: 36570-000 Viçosa, MG, cfsouza@ufv.br

base nos resultados foi identificado que mais de 50% das chuvas da região concentram-se no verão, sendo que ocorre grande variabilidade, principalmente nos anos com os valores mínimos de chuva. O modelo composto pela síntese das três primeiras ondas harmônicas (anual, semestral e quadrimestral) estimou, baseado na média dos últimos 81 anos, com representatividade de 98,61%, a variação anual da chuva média mensal ao longo do ano para a localidade em estudo, e o clima local ao longo dos últimos 81 anos. O modelo apresentou variações no valor do índice de umidade, no potencial anual da evapotranspiração, no percentual do potencial acumulado da evapotranspiração no verão e no período de concentração da deficiência hídrica ao longo do ano. Apesar das variações ocorridas, ao longo das décadas, o clima de Sete Lagoas não apresentou mudanças significativas em sua classificação climática.

Palavras – chave: Análise harmônica, Tendência Climática, Teste de Mann-kendall

Climatic Characterization of the Time Series of Temperature and Rainfall in Sete Lagoas, MG

Abstract

The uncertainties about the impacts of the new features of global and regional climate are real facts. According to IPCC, they are result of natural variability and, or human activities, thus including, agricultural practices, human activities that are critical to the survival. Such activities are dependent on the knowledge of the distribution of the main weather elements. In this way, the goal of this work was to identify the tendency, as well as the extremes and averages in the air temperature, the distribution of the total annual rainfall for Sete Lagoas city, Minas Gerais state, Brazil. It was important to consider the decomposition of the average monthly rainfall in its harmonic components in order to define a model from those more representative components able to support studies about climate change and facilitate the planning of agricultural activities in the region. Thus it was used the data series from 1930 to 2010, from a meteorological station belonging to the INMET, which is located at Embrapa Maize and Sorghum in Sete Lagoas. Based on the results it was verified that more than 50% of the rainfall in that region are concentrated in the summer, but with great variability, especially during the years with minimum values in rain. The model, that was compound for the

synthesis of the first three harmonics (annual, semiannual and quarterly), based on the average of the last 81 years, with representation of 98.61%, estimated the annual variation of monthly average rainfall throughout the year for the place in study, and local climate over the past 81 years. This model showed variations in the moisture content, in the annual potential evapotranspiration, in the percentage of the accumulated potential evapotranspiration during the summer and during the water deficit period through the year. In spite these variations, over the decades, the climate of Sete Lagoas shows no significant changes in its classification.

Keywords: Harmonic analysis, Climatic tendency, Mann-Kendall test.

Introdução

Embora na última década tenham aumentado as pesquisas científicas voltadas para as mudanças do clima da Terra, ainda há muitas incertezas sobre o tema, tais como os impactos decorrentes das novas características do clima global e regional, ou ainda sobre quando haverá estabilização do clima, ou quais variáveis regionais passarão por maiores mudanças, entre outras. Todas essas incertezas estão associadas à capacidade de estabilização futura das emissões antrópicas dos gases de efeito estufa, além da variabilidade natural do clima.

Na atualidade, as ferramentas mais utilizadas para projeções climáticas que visam responder as perguntas acerca do clima futuro são os modelos matemáticos, que, embora cada vez mais sofisticados e completos, ainda não conseguem assegurar certa margem de acerto confiável a respeito das mudanças do clima, principalmente devido à característica natural da variabilidade desse.

Diante da necessidade de maiores pesquisas voltadas para o clima, foi criado o IPCC (sigla em inglês para Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) (IPCC, 2005), o qual define mudanças climáticas (*climate change*) como as mudanças temporais do clima decorrentes da variabilidade natural e/ou atividades humanas. Assim, as práticas agrícolas, que são atividades humanas fundamentais para a sobrevivência do homem, e são fortemente dependentes do clima, tanto para os cultivos anuais quanto para os perenes, necessitam cada vez mais de estudos com resultados práticos capazes de auxiliar nas tomadas de decisão por parte dos produtores. Assim, tendo conhecimento de que a distribuição das chuvas durante o ano, para qualquer localidade, apresenta um comportamento médio chamado de normal climatológica, o conhecimento da possibilidade da ocorrência de valores acima

ou abaixo dessa “normal”, que é uma média local, torna-se fundamental, já que tanto o excesso quanto a falta desse elemento da natureza faz com que exista sempre certa insegurança, principalmente para a agropecuária.

Tal é a importância desse elemento para esse setor, que o plantio para diferentes culturas ocorre em diferentes datas, as quais são recomendadas de tal modo que a fase em que a planta mais necessite de água ocorra no período de maior ocorrência de chuva. Todavia, apesar do conhecimento das diferentes fases das culturas e das exigências hídricas, o risco associado aos cultivos não são totalmente descartados, já que devido a diferentes fenômenos climáticos, as chuvas podem ocorrer em maior ou menor volume ao longo dos anos, ocasionando perdas e, conseqüentemente, prejuízos aos produtores.

A ocorrência das chuvas, além de abastecer o solo diretamente com água, aumenta a umidade do ar, a qual influencia diretamente no processo de perda de água pelas plantas para a atmosfera. A umidade atmosférica, também quando associada à temperatura do ar, define as diferentes regiões aptas aos diferentes cultivos, já que a temperatura do ar interfere diretamente na atividade fotossintética das plantas, tornando-as dependentes da temperatura do ar para expressar seu máximo desenvolvimento.

Todavia, a associação de valores elevados de umidade e temperatura do ar também é favorável à ocorrência de grande número de pragas e doenças para as plantas, ocasionando perdas e, conseqüentemente, prejuízos econômicos aos produtores.

Com o presente trabalho objetiva-se identificar o comportamento dos valores médios e extremos da temperatura do ar e da distribuição da precipitação total anual para a localidade de Sete Lagoas, bem como decompor a precipitação média mensal nas suas componentes harmônicas a fim de definir um modelo a partir

daquelas componentes com maior representatividade. Busca-se ainda avaliar a série temporal destes elementos climáticos, temperatura e umidade do ar, a fim de subsidiar estudos sobre mudança climática, bem como facilitar o planejamento das atividades agrícolas da região.

Material e Métodos

Para o desenvolvimento do presente trabalho utilizou-se a série de dados desde o ano 1930 até 2010, da precipitação pluvial e das temperaturas mínima, máxima e média compensada e das temperaturas mínima e máxima absolutas anuais da Estação Meteorológica de Superfície Convencional pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a qual está localizada a $-19,47^{\circ}$ S; $-44,25^{\circ}$ W; a altitude 732 metros, no interior da área da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG.

Para a análise da temperatura do ar, a série de dados temporais foi dividida em décadas sendo considerada para o caso específico deste trabalho a década clássica, como iniciada sempre no ano zero e terminada no ano nove.

Em relação às variáveis estudadas, foi aplicado o teste estatístico de Mann-Kendall(S) (KENDALL, 1975) de análises não paramétricas, proposto inicialmente por Sneyers (1975). Este teste considera que, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples). Goossens & Berger (1986) afirmam que o teste de Mann-Kendall é o método mais apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas e permite também a detecção e localização aproximada do ponto inicial de determinada tendência. A hipótese de nulidade considera que os dados x_1, x_2, \dots, x_n são variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas,

e que não há mudança climática considerando um nível α de probabilidade de 5% entre os valores da amostra e da população desta.

Logo, os dados da série são organizados para serem analisados como uma série temporal ordenada. Cada dado da série é comparado com todos aqueles subsequentes. O valor de S é considerado como 0 (zero) para o início da análise de Mann-Kendall, ou seja, nenhuma tendência. Em seguida, se o valor subsequente da série for maior do que o anterior, S é incrementado em 1, se for menor, S é decrementado em 1. No final, após todos os incrementos e decrementos, o valor líquido é o valor final de S .

Assim, para uma série temporal de x_1, x_2 a x_n , de n dados, onde x_j representa o dado num tempo j qualquer, a estatística de Mann-Kendall é dada pela equação 1:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sinal}(x_j - x_i) \quad (1)$$

em que,

$$\text{sinal}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Valores positivos altos de S representam tendência crescente, enquanto que valores negativos, tendência decrescente.

A significância estatística da tendência é dada a partir da probabilidade de S da seguinte maneira:

a) Para séries com grande número de termos n , considerando a hipótese nula H_0 de ausência de tendência verdadeira em uma longa série, S deve apresentar distribuição normal com média zero e variância dada por :

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5)] \quad (3)$$

b) Para valores da estatística Z (teste estatístico normalizado, com valor obtido a partir da equação 4 para comparação com valores de Z tabelado para distribuição normal) muito grandes, a estatística de S pode ainda ser testada para uma hipótese alternativa H_1 , usando o teste bilateral para Z do seguinte modo:

$$Z = \begin{cases} \frac{(S-1)}{\text{Var}(S)^{1/2}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{(S+1)}{\text{Var}(S)^{1/2}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

O valor da probabilidade α_1 é calculado por meio de uma Tabela da normal reduzida com base no valor de Z calculado.

A rejeição de H_0 indica a existência de tendência significativa; logo, baseado no valor de α_1 a hipótese nula é rejeitada, ou não, a um nível de significância α_0 se $\alpha_1 < \alpha_0$ ou $\alpha_1 > \alpha_0$, respectivamente.

Pode-se confirmar a hipótese de estabilidade dos dados quando aceita-se H_0 (ausência de tendência na série de dados); ou pode-se rejeitar H_0 e aceitar a hipótese alternativa, H_1 (é considerada a existência de tendência significativa na série temporal dos dados).

Foram também determinadas ondas senoidais visando elaborar um modelo capaz de representar do melhor modo possível as características da chuva regional (DANTAS NETO; BARRA, 1998). Assim, as ondas representando os eventos de chuva, anual, semestral, quadrimestral, trimestral, bimestral e mensal foram analisadas, e a soma de n ondas senoidais utilizada para elaboração da onda síntese, a qual representa o modelo completo.

Foi considerada a eficiência da série de Fourier (Harmônica) de uma série finita de N dados, segundo as equações a seguir, para analisar os diferentes harmônicos associados a explicação da variação da precipitação pluvial em Sete Lagoas, MG.

$$P_k = a_k \text{ sen } A_k \quad (5)$$

$$Q_k = a_k \text{ cos } A_k \quad (6)$$

$$Y_t = P_0 + \sum_1^k \left[P_k \text{ cos } \left(\frac{2\pi kt}{T} \right) + Q_k \text{ sen } \left(\frac{2\pi kt}{T} \right) \right] \quad (7)$$

$$P_k = \frac{2}{N} \sum_{(t=0)}^{(t=N-1)} \left[Y_t \text{ cos } \left(\frac{2\pi kt}{T} \right) \right] \quad (8)$$

$$Q_k = \frac{2}{N} \sum_{(t=0)}^{(t=N-1)} \left[Y_t \text{ sen } \left(\frac{2\pi kt}{T} \right) \right] \quad (9)$$

$$a_k^2 = P_k^2 + Q_k^2 \quad (10)$$

$$A_k = \arctan \left(\frac{P_k}{Q_k} \right) \quad (11)$$

$$\text{Var}_k = \frac{a_k^2}{2S^2} \quad (12)$$

Em que: Y_t são os valores estimados pelo modelo; P_0 , as médias dos valores observados; P_k e Q_k , os coeficientes ortogonais das ondas senoidais; a_k , a amplitude da onda; A_k , o ângulo de fase; T , igual a 1,2,3..., N , é o período da onda; N é o número de observações da série; t é a unidade de tempo; k , igual a 1, 2, 3..., $N/2$, quando N for par, e até $(N-1)/2$, quando N for ímpar e Var_k , é a variância da harmônica k . As ondas obtidas pela análise harmônica foram submetidas a análise de variância. A eficiência da série de Fourier foi determinada com base na variância para determinar quanto cada harmônico explica a variação total dos dados de precipitação em Sete Lagoas, MG, utilizando-se o percentual acumulado nos harmônicos.

Foi considerada a classificação climática de Thornthwaite como técnica analítica e descritiva capaz de, a partir de grande volume de dados meteorológicos, classificar o clima regional para Sete Lagoas, MG. Foi então realizado o balanço hídrico climatológico, o

qual considera o conceito de evapotranspiração potencial associado ao volume precipitado para análise do Índice de Umidade I_m (equação 13), o qual é derivado do Índice Hídrico I_h (equação 14) e do Índice de Aridez I_a (equação 15) (VIANELLO; ALVES, 2000).

$$I_m = I_h - 0,6I_a \quad (13)$$

$$I_h = 100 \left(\frac{e}{n_a} \right) \quad (14)$$

$$I_a = 100 \left(\frac{d}{n_a} \right) \quad (15)$$

No qual e representa o excesso de água; d , o déficit de água e n_a é a necessidade de água associada à evapotranspiração potencial obtida em função da temperatura do ar e duração do dia. Os valores de e , d e n_a são estimados a partir do balanço hídrico.

Resultados e Discussão

Chuva

Na Figura 1 está representada a Série Temporal da Precipitação Pluvial Total Anual (mm) no município de Sete Lagoas, MG, no período de 1930-2010.

Com base na distribuição temporal da precipitação pluvial total anual no município de Sete Lagoas, MG, entre 1930 a 2010 (Figura 1), apesar de as normais climatológicas nos meses de julho e agosto apresentarem valores médios mensais de chuva superiores àqueles obtidos para os mesmos meses na série de 81 anos de dados, o valor médio obtido da série foi de 1362,9 mm, que representa o valor de 7,16% acima daquele da normal climatológica, que é de 1271,9 mm, determinada pelo INMET para o período de 1961-1990. A grande variabilidade da distribuição da chuva (Figura 1) é identificada pela diferença entre a maior precipitação pluvial de 2.233,9 mm, ocorrida no ano de 1979, e a menor de 463,9 mm, em 1963.

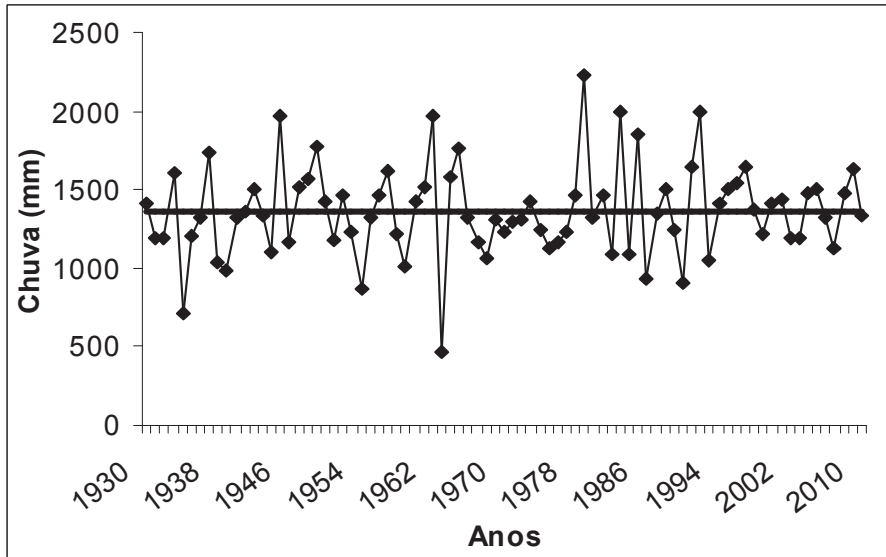


Figura 1. Série Temporal da Precipitação Total Anual (mm) no município de Sete Lagoas, MG, no período de 1930-2010.

Na Figura 2 estão apresentadas as Normais Climatológicas e a precipitação pluvial média mensal ocorrida em Sete Lagoas no período de 1930 a 2010.

Pode-se observar, com base nessa Figura, que para a região de Sete Lagoas, de acordo com a distribuição da precipitação pluvial média mensal, a estação do verão (dezembro a fevereiro) concentra aproximadamente 55% do volume de chuvas, enquanto que o inverno (junho a agosto) é a estação menos chuvosa, com aproximadamente 2% do total da precipitação anual sendo, entretanto, que as chuvas mais significativas iniciam-se em outubro de cada ano seguindo até março do ano seguinte (Figura 2).

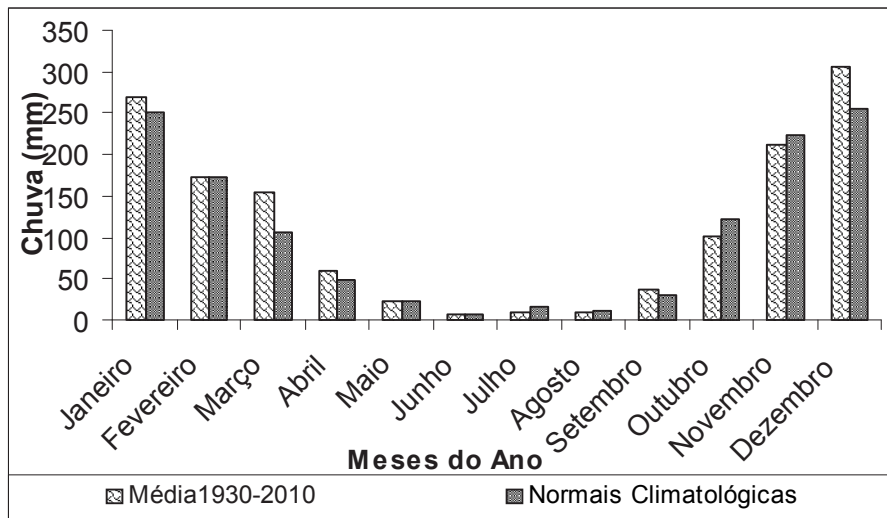


Figura 2. Normais climatológicas e precipitação média mensal de Sete Lagoas para o período de 1930 a 2010.

Na Tabela 1 estão apresentados os coeficientes para as ondas harmônicas da chuva média mensal para o período de 1930-2010 em Sete Lagoas, MG. Caso a variância acumulada nas harmônicas seja superior a 99%, quando comparada à variância observada nos dados da série, considera-se que a série de Fourier seja eficiente, ou seja, ela explica a variação total dos dados de precipitação pluvial na região de Sete Lagoas, MG.

Tabela 1. Valores dos coeficientes P_k , Q_k , a_k , A_k , $Vark$ e $Vark_{ac}$ resultantes da análise harmônica das médias mensais de chuva de Sete Lagoas, MG, no período de 1917-1985.

K (nº do harmônico)	1	2	3	4	5	6
P_k	134,022	25,019	-8,242	-3,876	2,305	8,292
Q_k	-27,318	-23,781	-14,427	-12,888	-7,937	0,000
a_k	136,778	34,518	16,615	13,458	8,265	8,292
A_k	-1,370	-0,811	0,519	0,292	-0,283	
$Vark$	0,573	0,037	0,008	0,006	0,002	0,002
$Vark_{ac}$	0,573	0,610	0,618	0,624	0,626	0,628

Os coeficientes P_k e Q_k são denominados “contrastos” e são resultantes das transformações matemáticas dos parâmetros A_k (ângulo-fase do harmônico) e a_k (amplitude da oscilação do harmônico); $Vark$, é a fração da variação total explicada por cada harmônico e $Vark_{ac}$, é o valor de $Vark$ acumulado ao longo dos harmônicos.

O modelo síntese a seguir (equação 12) foi composto pelas três primeiras harmônicas (ondas anual, semestral e quadrimestral) apresentadas na Tabela 1, por estas explicarem em 98,61% a variação do comportamento da chuva em relação ao período observado em Sete Lagoas, MG.

$$Y_t = 111,49 + 134,02 \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) - 27,31 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) + 25,01 \cos\left(\frac{4\pi}{T}t\right) - 23,78 \sin\left(\frac{4\pi}{T}t\right) - 8,24 \cos\left(\frac{6\pi}{T}t\right) - 14,47 \sin\left(\frac{6\pi}{T}t\right) \quad (12)$$

em que “ t ” é o valor do mês considerado (varia de 0 a 11) e representa a defasagem das ondas ao longo do período “ T ”, que representa o período (12 meses do ano) da onda, e é equivalente ao comprimento desta, contudo, é dado em unidade de tempo.

Análise Harmônica ou Análise de Fourier é uma técnica conveniente para o estudo de fenômenos periódicos ou quase periódicos, pois permite descrever, no domínio da frequência, uma série de dados ordenados no tempo.

Na Figura 3 estão apresentados os valores médios mensais de chuva e os observados em 81 anos em Sete Lagoas, MG, para o período de 1930 a 2010, bem como estão representadas as harmônicas da variação anual, semestral, quadrimestral e a síntese das três ondas.

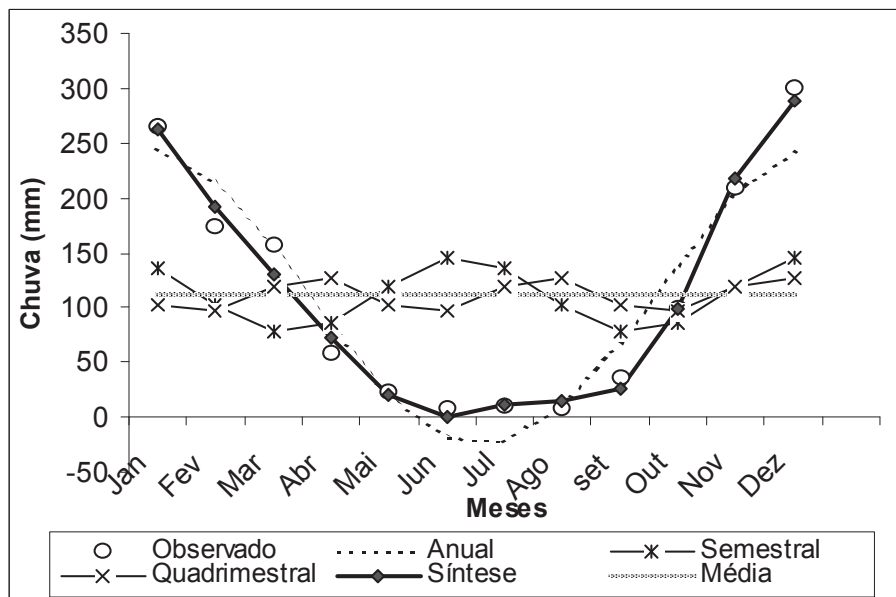


Figura 3. Valores médios mensais de chuva em Sete Lagoas, MG, para o período de 1930 a 2010, representados pela harmônica média mensal, anual, semestral, quadrimestral e a síntese destas três ondas.

O modelo estima os maiores valores de chuva para os meses de novembro a fevereiro, enquanto que os menores são estimados para maio a setembro, de acordo com a distribuição apresentada

na Figura 3. Embora o modelo da onda anual descreva o mesmo comportamento dos dados reais, apresenta certo atraso, principalmente no período mais seco do ano. Assim, o modelo síntese, ou seja, a soma das três harmônicas, deve ser adotado para estimativa das chuvas para a região de Sete Lagoas. As demais ondas harmônicas trimestrais, bimestrais e mensais, respectivamente, 4, 5 e 6, são desprezíveis por não apresentarem variação significativa.

Na Figura 4 está representado o comportamento das séries temporais anuais da precipitação pluvial com as respectivas retas de tendência para intervalos de confiança máximo e mínimo de 99%.

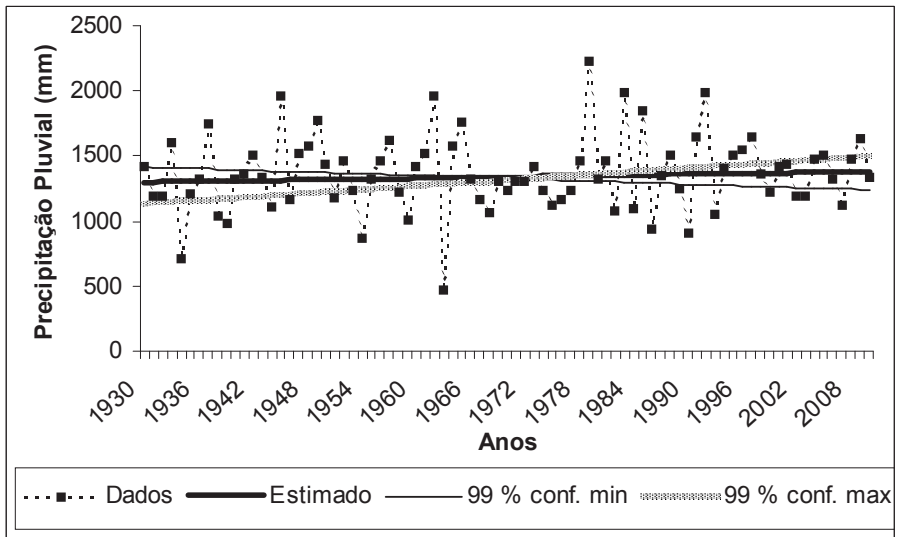


Figura 4. Distribuição da precipitação pluvial com a tendência ao longo do tempo

Com base na Figura 4, observa-se grande oscilação interanual, principalmente quando ocorrem os valores mínimos de precipitação. Tal variabilidade algumas vezes assemelham-se a uma sequência com incremento ou redução linear.

Temperatura

Na Figura 5 estão apresentadas as séries temporais das temperaturas máxima e mínima absoluta e a média anual ocorrida em Sete Lagoas, MG, no período de 1930 a 2010.

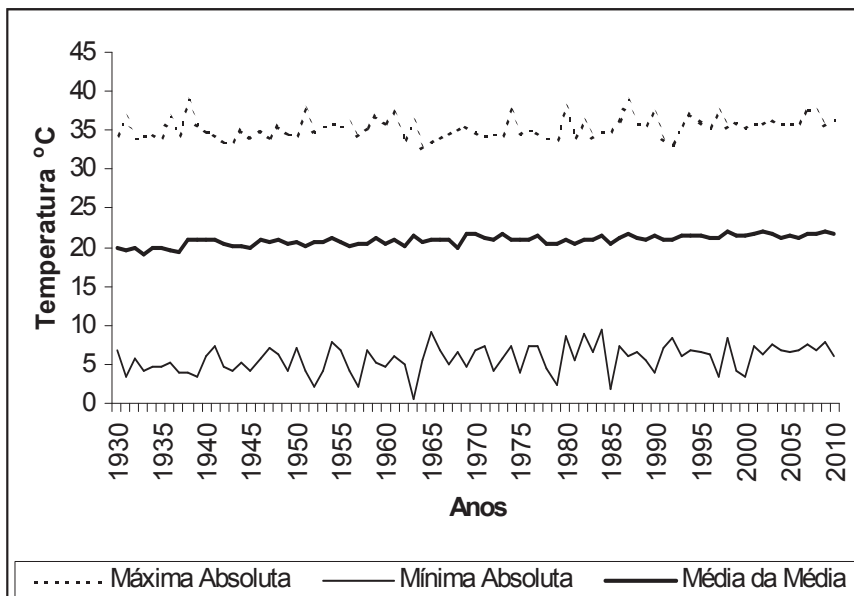


Figura 5. Distribuição anual das temperaturas máxima e mínima absoluta e a média anual no município de Sete Lagoas, MG, entre 1930 a 2010.

Com base na variação temporal anual da temperatura máxima e mínima absoluta, bem como a média anual no município de Sete Lagoas, MG, entre 1930 e 2010, pode ser observado na Figura 4 que as temperaturas máximas absolutas anuais ocorreram em torno de 35 °C, as mínimas absolutas anuais em torno de 5 °C e a temperatura média foi de 20,9 °C, valor este igual ao valor da normal climatológica, determinados pelo INMET para o período de 1961-1990.

Nas Figuras 6a e 6b estão apresentadas as séries temporais das temperaturas máxima e mínima, ocorridas em Sete Lagoas no período de 1930 a 2010.

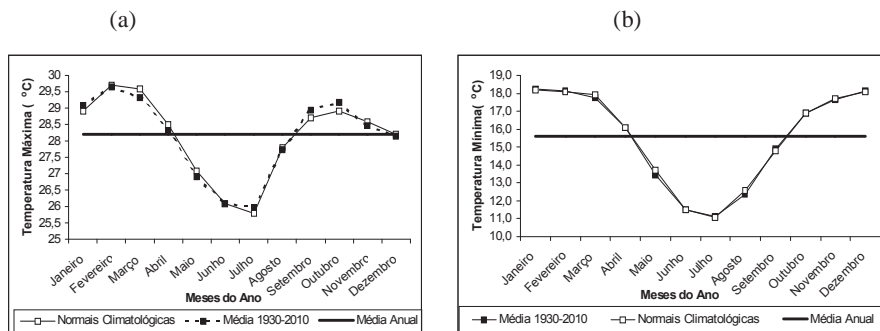


Figura 6. Distribuição mensal da temperatura máxima (a) e mínima (b) para o município de Sete Lagoas, MG, entre 1930 e 2010.

Com base nos resultados obtidos, cabe destacar que, quando analisado o valor médio mensal das temperaturas máximas, Figura 6a, e mínimas, Figura 6b, foram obtidos, respectivamente, os valores médios anuais da temperatura máxima de 28,2 °C e da temperatura mínima de 15,6 °C, para o período 1930 a 2010, valores iguais aos da normal climatológica, determinados pelo INMET para o período de 1961-1990, ou seja, em média a temperatura máxima anual (Figura 6a) para Sete Lagoas ocorre aproximadamente 7 °C abaixo do valor médio da temperatura máxima absoluta (Figura 5), enquanto que a temperatura mínima anual (Figura 6b) ocorre aproximadamente 10,5 °C acima do valor médio da temperatura mínima absoluta (Figura 5), ambas já registradas para esse município entre os anos de 1930 e 2010 (Figura 5).

As séries temporais decadais dos valores médios anuais das temperaturas máxima, mínima e média, no período de 1930 a 2010, são apresentadas na Figura 7.

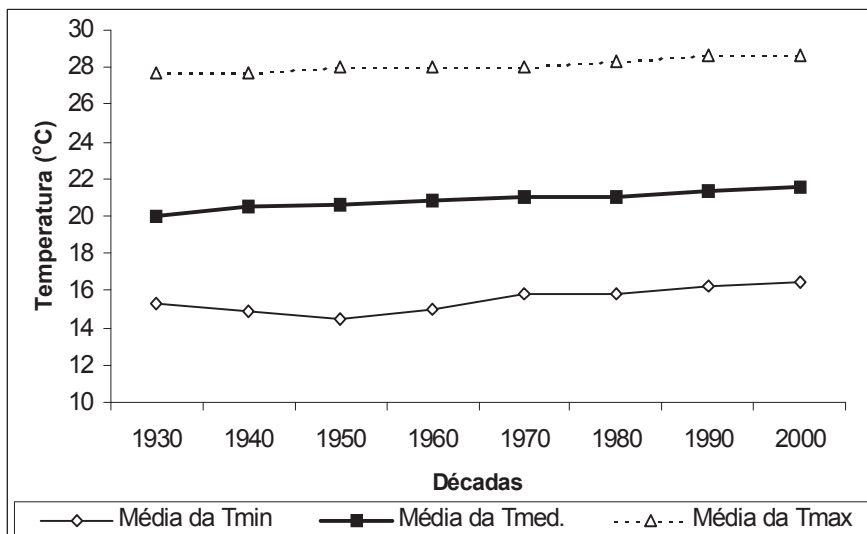


Figura 7. Distribuições decadais dos valores anuais das temperaturas máxima e mínima, bem como da temperatura média no município de Sete Lagoas, MG, no período de 1930 a 2010.

Para as temperaturas máximas e médias, os menores valores ocorreram na década de 1930, enquanto os maiores foram na década de 2000, já para a temperatura mínima, verifica-se que a década de 1950 foi a que apresentou os menores.

A distribuição dos valores médios anuais das temperaturas máxima (Média da Tmax.), mínima (Média da Tmin.) e média (Média da Tmed.) (em °C, escala à esquerda do gráfico), ocorridas em Sete Lagoas no período de 1930 a 2010, é apresentada em séries temporais decadais, respectivamente, nas Figuras 8, 9 e 10.

São ainda apresentados nas mesmas figuras o quanto, em valor percentual (escala a direita do gráfico), representa a variação do valor médio da temperatura do ar de cada década em relação a década antecedente (linha sólida preta); bem como também é apresentado o valor, em percentual, da variação do valor médio

da temperatura do ar de cada década em relação ao valor da temperatura ocorrida na década de 1930 (coluna hachurada).

Na Figura 8 pode-se observar a distribuição: dos valores médios decadais da temperatura máxima (Média da T_{máx.}); dos valores percentuais decadais da temperatura máxima em relação a década anterior (VPT_{max.DA}), e dos valores percentuais decadais da temperatura máxima em relação a década de 1930 (VPT_{max.D30}).

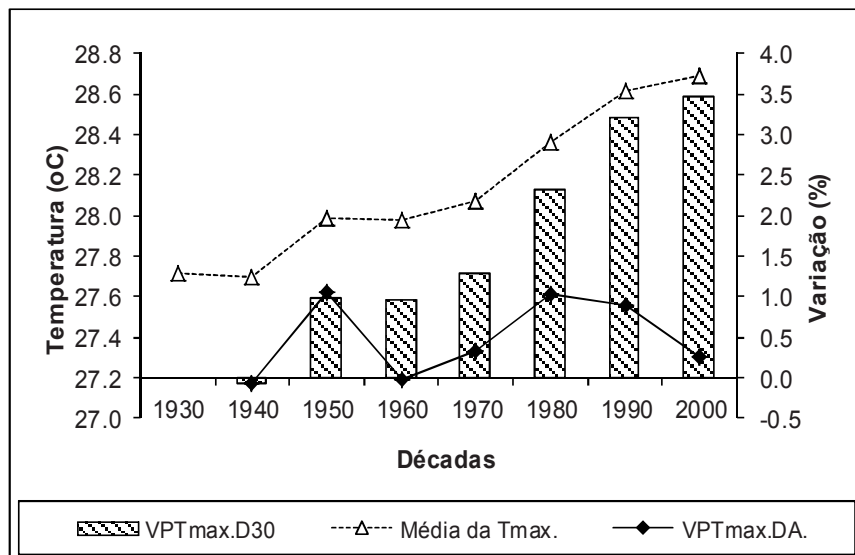


Figura 8. Variações decadais dos valores médios decadais da temperatura máxima no município de Sete Lagoas, MG, no período de 1930 a 2010.

Pode-se ainda observar, com base na Figura 8, que embora a década de 2000 tenha apresentado os maiores valores de temperatura máxima (Média da T_{máx.}), aproximadamente 28,5 °C, representando o acréscimo próximo de 3,5% na temperatura (VPT_{max.D30}) em relação à década de 1930, esta década apresenta apenas o aumento de 0,26% em relação à anterior (VPT_{max.DA}), 1990, a qual apresentou 0,90% de aumento em

relação à década de 1980, que foi uma das que apresentou maior percentual de aumento em relação a sua antecedente (VPTmax.DA), ou seja, em torno de 1% em relação à década de 1970.

Na distribuição das séries temporais decadais dos valores médios anuais da temperatura mínima (Figura 9), verifica-se que embora a década de 2000 tenha apresentado os maiores valores (Média da Tmin.), próximo a 16,5 °C, representando aumento da temperatura mínima (VPTmin.D30) próximo de 7,5% em relação à década de 1930, esta década apresenta apenas o aumento de aproximadamente 1,4% em relação à anterior (VPTmin.DA), 1990, a qual apresentou 2,6% de aumento em relação à década precedente, 1980. Destaca-se para a série analisada que as décadas de 1940 e 1950 apresentaram redução nos valores médios anuais de temperatura mínima em relação à década de 1930, representados pelo VPTmin.D30, sendo que somente a partir da década de 1960 passou a ocorrer acréscimo no valor médio da temperatura mínima.

Na distribuição das séries temporais decadais dos valores anuais da temperatura média (Figura 10), verifica-se que, embora a década de 2000 tenha sido a que apresentou os maiores valores desta temperatura (Média da Tmed.), próximo a 21,5 °C, representando aumento da temperatura (VPTmed.D30) próximo de 8,0 % em relação à década de 1930. Observa-se, todavia, que embora a temperatura média (Média da Tmed.) sempre tenha aumentado a partir da década de 1930, a partir da década de 1940 o aumento em relação à década anterior (VPTmed.DA) sempre foi inferior àquele ocorrido na década de 1940 em relação a de 1930.

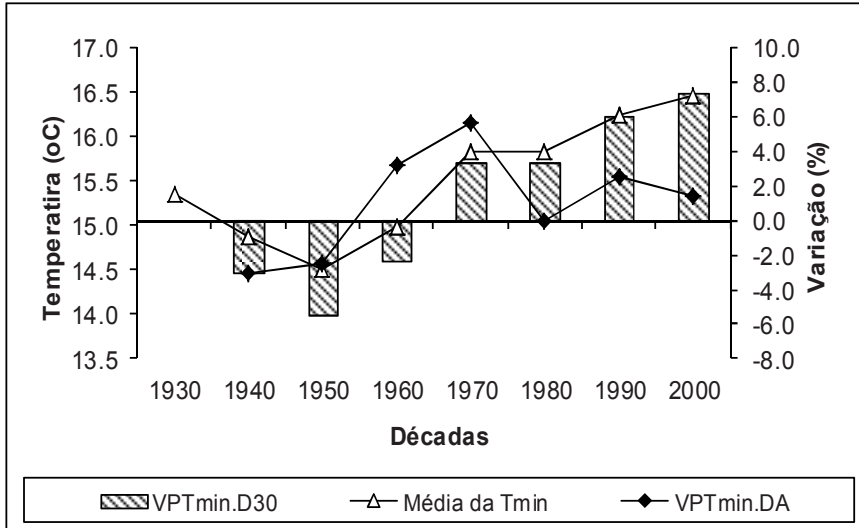


Figura 9. Variações decadais dos valores médios anuais da temperatura mínima no município de Sete Lagoas/MG, no período de 1930 a 2010.

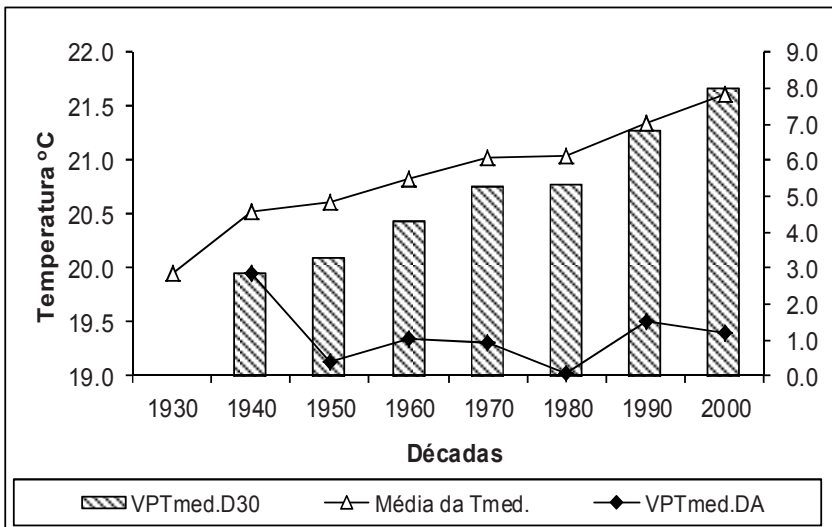


Figura 10. Variações decadais dos valores médios anuais da temperatura média no município de Sete Lagoas, MG, no período de 1930 a 2010.

Em relação ao cálculo da estatística de Mann-Kendall para verificar se houve tendência estatisticamente significativa nas séries temporais de dados de precipitação pluvial registrados no posto meteorológico, o resultado da tendência é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados das análises de tendência a partir do teste de Mann-Kendall ao nível de significância de 95%, 1931-2007.

Variável Analisada	Teste de Mann-Kendall	$\alpha = 5\%$
Precipitação Total Anual (mm)	0,96	NS
Temperatura Média Anual (°C)	7,44	S
Temperatura Máxima Absoluta Anual (°C)	2,77	S
Temperatura Máxima Anual (°C)	5,32	S
Temperatura Mínima Absoluta Anual (°C)	3,07	S
Temperatura Mínima Anual (°C)	6,71	S

NS = tendência não significativa; S = tendência significativa

Pela análise feita com base no teste de Mann-Kendall, observa-se que somente na precipitação pluvial anual (mm), o valor de α_0 (0,1685) foi maior do que o valor de α_0 (0,05). Logo, a tendência climática para esta variável é não significativa, ou seja, foi aceita a hipótese de nulidade, H_0 .

As demais variáveis analisadas apresentaram tendência significativa ($\alpha_1 < \alpha_0$), ou seja, foi rejeitada a hipótese de nulidade formulada ($P < 0,05$), o que indica que há tendência de variação significativa.

Na Figura 11 está representado o comportamento das séries temporais anuais da temperatura mínima absoluta (a) e média mínima (b); na Figura 12 está o comportamento da temperatura média, e na Figura 13, o comportamento da máxima absoluta (a)

e média máxima (b) com as respectivas retas de tendência para intervalos de confiança máximo e mínimo de 99%.

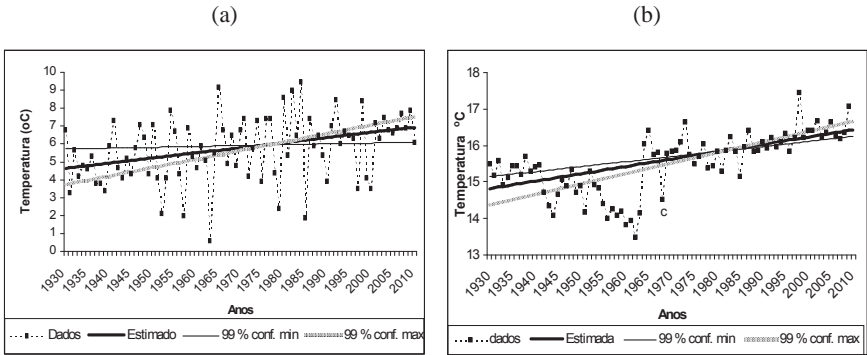


Figura 11. Distribuição da temperatura mínima absoluta (a) e da mínima (b) e suas respectivas tendências ao longo do tempo.

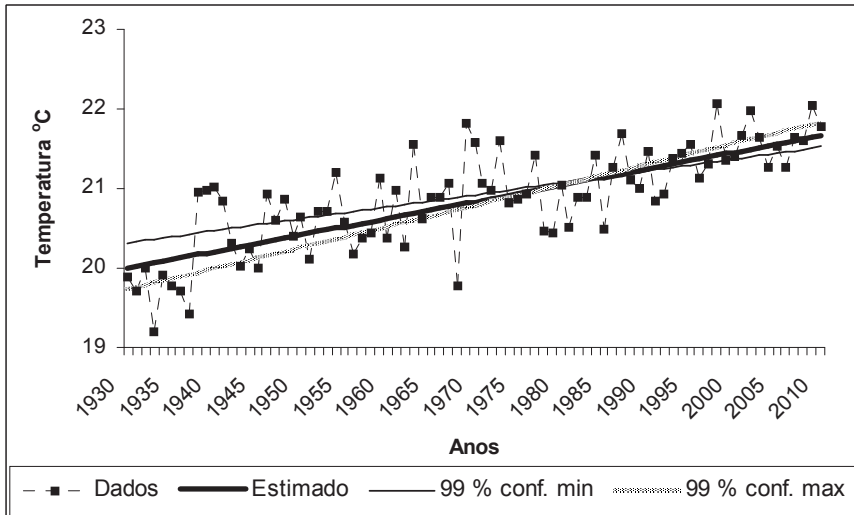


Figura 12. Distribuição da temperatura média com a tendência ao longo do tempo.

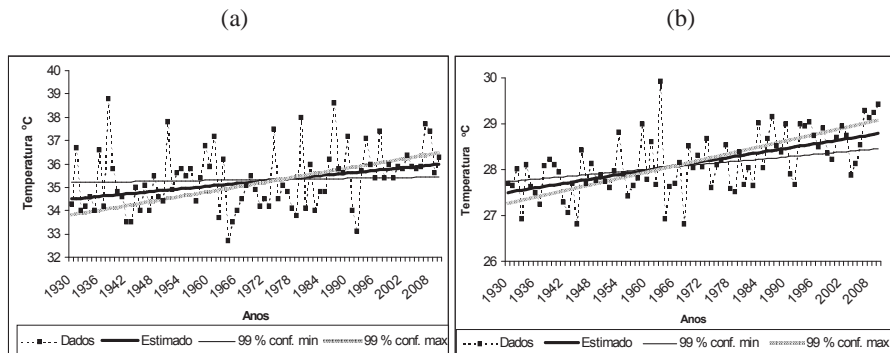


Figura 13. Distribuição da temperatura máxima absoluta (a) e da máxima (b) e suas respectivas tendências ao longo do tempo.

Com base nas Figuras 11, 12 e 13, pode-se observar que ocorreram tendências lineares para alguns anos seguidos na distribuição das temperaturas, sendo para as temperaturas mínimas entre 1940 e 1975; para as temperaturas máximas entre 1942 e 1948 e entre 1995 e 2010; para as temperaturas máximas absolutas entre 1965 e 1970 e mínimas absolutas entre 1957 e 1960, e entre 1987 e 1991. A temperatura média não apresentou tendência linear para anos seguidos ao longo da série. Destaca-se ainda que podem ser observados períodos onde as variabilidades são maiores ao longo da série, principalmente para as temperaturas máximas e mínimas absolutas.

Classificação Climática

Em função de as condições atmosféricas predominantes em determinado local caracterizarem o clima, com base no Balanço Hídrico Normal, definido por Thornthwaite e Mather (1955), foram obtidos os valores das principais variáveis predominantes a cada década, necessárias à classificação climática decadal (Tabela 3).

Tabela 3. Variáveis obtidas a partir do Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather (1955) predominantes nas diferentes décadas.

Variáveis	Décadas								
	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	Global
Excedente(mm)	431,9	655,2	476,4	568,8	506,4	516,5	560,8	535,2	506,9
Deficit (mm)	115,4	147,1	154,9	187,0	122,0	120,5	146,0	189,3	139,3
Evapotranspiração (mm)	925,1	953,73	960,32	974,52	987,88	989,01	1013,90	1032,27	974,86
ETP-Verão (%)	31,92	31,95	31,32	30,97	31,84	31,36	31,40	30,65	31,64

Foram também definidos os principais índices que caracterizam o clima predominante nas diferentes décadas ao longo da série estudada (Tabela 4).

Tabela 4. Resultados dos índices obtidos a partir do Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather (1955) e a classificação climática para Sete Lagoas das diferentes décadas ao longo do período de 1930 a 2010.

Índices	Décadas								
	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	Global
Hídrico	46,7	68,7	49,6	58,4	51,3	52,2	55,3	51,8	52,0
DE Aridez	12,5	15,4	16,1	19,2	12,3	12,2	14,4	18,3	14,3
DE Umidade	39,2	59,4	39,9	46,9	43,9	44,9	46,7	40,8	43,4
Classificação Climática de Thornthwaite e Mather	B ₁ rB ₃ a'	B ₂ rB ₃ a'	B ₁ rB ₃ a'	B ₂ WB ₃ a'	B ₂ rB ₃ a'	B ₂ rB ₃ a'	B ₂ rB ₄ a'	B ₂ WB ₄ a'	B ₁ rB ₃ a'

Com base nos resultados da classificação climática, observa-se que a flutuação nas características climáticas podem ocorrer por um determinado período mais longo, representando, possivelmente, uma oscilação de causa natural, não necessariamente caracterizando a hipótese de mudança definitiva nos padrões climáticos do local.

Em geral, o clima “global” em Sete Lagoas, segundo a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955), é B₁rB₃a'. De acordo com a análise climática por décadas, a mesma classificação “global” foi encontrada para as décadas de 1930 e 1950, sendo o clima classificado como: clima úmido, com pequena deficiência hídrica nos meses de agosto e setembro, mesotérmico, com evapotranspiração potencial anual “global” de 974,86 mm (sendo

925,1 mm para a década de 1930 e 960,32 mm para 1950) e concentração da evapotranspiração potencial acumulada no verão de 31,64% em relação à acumulada ao longo do ano (sendo 31,92% para a década de 1930 e 31,32% para 1950). Para as décadas de 1940, 1970 e 1980, o clima é classificado como $B_2rB'_3a'$, que significa clima úmido com pequena deficiência hídrica, mesotérmico, com evapotranspiração potencial anual de 953,73 mm, para 1940; 987,88 mm, para 1970 e 989,01 mm, para a década de 1980, e concentração da evapotranspiração potencial acumulada no verão, respectivamente, de 31,95%, 31,84 e 31,36%.

Para a década de 1960, o clima é classificado como $B_2wB'_3a'$, significando clima úmido com moderada deficiência hídrica no inverno, mesotérmico, com evapotranspiração potencial anual de 974,52 mm e concentração da evapotranspiração potencial acumulada no verão de 30,97%.

Para as décadas de 1990 e 2000, o clima é classificado como $B_2rB'_4a'$, significando clima úmido, com pequena deficiência hídrica, mesotérmico, com evapotranspiração potencial anual de 1013,90 mm na década de 1990 e 1032,27 mm na década de 2000 e concentração da evapotranspiração potencial, acumulada no verão, respectivamente, de 31,40% e 30,65%.

Observa-se que para as décadas de 1930, 1940 e 1950, de acordo com a classificação climática, o clima pode ser considerado o mesmo, já que a diferença entre as décadas ocorre apenas na faixa do índice de umidade. Na década de 1960, além do índice de umidade, ocorre mudança na concentração da deficiência de água que passa a ser exclusivamente no inverno. Entre as décadas de 1980, 1990 e 2000, além das mudanças anteriores, embora ainda considerado mesotérmico, há mudança também na concentração da evapotranspiração potencial anual com registro de aumento nos valores. Tais variações decadais estão de acordo com Ayoade (1996), o qual destaca que as flutuações do clima ocorridas em

períodos entre 30 ou até 35 anos não podem ser consideradas necessariamente como mudanças do clima.

Conclusões

Mais da metade das chuvas concentram-se na estação do verão, e ocorre grande variabilidade, principalmente nos anos com os valores mínimos de chuva.

O modelo composto pela síntese das três primeiras ondas harmônicas (anual, semestral e quadrimestral) estima, baseado na média dos últimos 81 anos, com representatividade de 98,61%, a variação anual da chuva média mensal ao longo do ano para Sete Lagoas, MG.

O clima local de Sete Lagoas ao longo dos últimos 81 anos apresentou variações no valor do índice de umidade, no potencial anual da evapotranspiração, no percentual do potencial acumulado da evapotranspiração no verão e no período de concentração da deficiência hídrica ao longo do ano.

Apesar das variações ocorridas, ao longo das décadas, o clima de Sete Lagoas não apresenta mudanças significativas em sua classificação climática.

Pela hipótese formulada, pode-se concluir que dentre todos os elementos meteorológicos analisados, apenas para a precipitação pluvial anual não houve tendência de mudança significativa ao longo dos últimos 81 anos.

Referências

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

DANTAS NETO, F. S.; BARRA, T. S. Análise harmônica da chuva média mensal para o município de Mossoró, RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10.; CONGRESSO LATINO-AMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 8., 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: [s.n.], 1998.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contributions of the working group II to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change.** Disponível em: <http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/>. Acesso em: 25 ago. 2005.

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods.** 4. ed. London: Charles Griffin, 1975.

SNEYERS, R. **Sur l'analyse statistique des séries d.observations.** Genève: Organisation Météorologique Mondiale, 1975. 192 p. (OMM. Note technique, 143).

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance.** New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology).

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações.** Viçosa: UFV, 2000. 448 p.

Embrapa

Milho e Sorgo



Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

G O V E R N O F E D E R A L
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA