

ODETE CARDOSO DE OLIVEIRA SANTOS

ANÁLISE DOS COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO
SERIADO PARA VIÇOSA, MG

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Meteorolo-
gia Agrícola, para Obtenção do Tí-
tulo de "*Magister Scientiae*".

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
JULHO - 1984

BIBLIOTECA
DEPTO. ENG. AGRÍCOLA

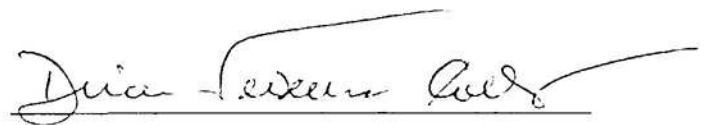
ODETE CARDOSO DE OLIVEIRA SANTOS

ANÁLISE DOS COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO
SERIADO PARA VIÇOSA, MG

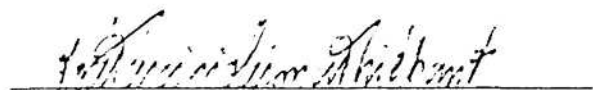
Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Meteorolo-
gia Agrícola, para Obtenção do Tí-
tulo de "Magister Scientiae".

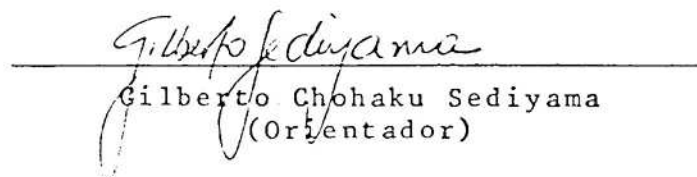
APROVADA: 29 de junho de 1984


Rubens Leite Vianello
(Conselheiro)


Dirceu Teixeira Coelho
(Conselheiro)


José Maria Nogueira da Costa


José Tarcisio Lima Thiébaut


Gilberto Chohaku Sedyama
(Orientador)

À memória de meu pai, João,
À minha mãe, Teodorina,
A meus irmãos (ãs),
A meus sobrinhos (as), cunhados (as).

AGRADECIMENTOS

A DEUS, que nas horas de aflição, socorreu-me através dos meus Mentores Espirituais.

Ao CNPq e ao FINEP pelo suporte financeiro.

À Universidade Federal de Viçosa por ter-me recebido como aluna de Pós-Graduação.

À direção do CENTREINAR, pelo apoio, especialmente no esforço realizado na concessão inicial da bolsa de estudos.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)-59 DISME, pelas informações e dados meteorológicos fornecidos.

Ao Professor Gilberto C. Sedyama, pela orientação correta, pela compreensão e pela amizade.

Aos Professores Dirceu Teixeira Coelho e Rubens de Leite Vianello, pelas idéias apresentadas ao longo deste trabalho e pela amizade.

Ao Professor Hélio Alves Vieira, pela amizade e idéias apresentadas ao longo dos cursos.

Ao colega Wathney Hermsdorff, pela ajuda na parte da computação.

A todos colegas dos Cursos de Pós-Graduação pela convivência e amizade.

BIOGRAFIA

ODETE CARDOSO DE OLIVEIRA SANTOS, nasceu na cidade de Belém, Estado do Pará.

Em 1972 recebeu o certificado de Licenciatura Plena em Geografia, pela Universidade Federal do Pará, Belém - Pará.

Cursou disciplinas do Curso de Mestrado em Meteorologia no Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, São Paulo, de 1976 a 1977.

Desempenhou a função de Climatologista no Projeto de Hidrologia e Climatologia da Amazônia, Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), de fevereiro de 1978 a dezembro de 1981. Como bolsista da Organização Meteorológica Mundial, OMM, frequentou o Curso de Meso e Microagrometeorologia na Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Buenos Aires, Argentina, em 1979.

Em 1982 iniciou o Curso de Mestrado em Meteorologia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE SÍMBOLOS	xi
EXTRATO	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Autocorrelação na Série Temporal	8
2.2. Análise Espectral	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1. Temperatura do Ar	19
4.2. Precipitação	23
4.3. Evapotranspiração Potencial (EP) e Evapotranspiração Real (ER)	36
4.4. Deficiência Hídrica e Excesso Hídrico	48
5. RESUMO E CONCLUSÕES	61
BIBLIOGRAFIA	64

LISTA DE QUADROS

		Página
1	Amplitude ($^{\circ}\text{C}$), Fase (Graus) da Série de Fourier Ajustada aos Dados de Temperatura Média do Ar para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, Período de 1924 a 1982, para Viçosa, MG, e a Percentagem da Variância Acumulada (%)	24
2	Densidade Espectral e Frequências da Temperatura para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro	28
3	Amplitude (mm) e Fase (Graus) da Série de Fourier Ajustada aos Dados de Precipitação para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, Período de 1924 a 1982, para Viçosa, MG, e a Percentagem da Variância Acumulada (%)	32
4	Densidade Espectral e Frequência da Precipitação Pluvial para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro	36
5	Amplitude (mm), Fase (Graus) da Série de Fourier Ajustada aos Dados de Evapotranspiração Potencial para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, Período de 1924 a 1982, para Viçosa, MG,	

	Página
e a Percentagem da Variância Acumulada (%)	42
6 Amplitude (mm), Fase (Graus) da Série de Fourier Ajustada aos Dados de Evapotranspiração Real para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, Período de 1924 a 1982, para Viçosa, MG, e a Percentagem da Variância Acumulada (%)	43
7 Densidade Espectral e Frequências de Evapotranspiração Potencial para os Meses de Janeiro, Abril e Outubro	45
8 Densidade Espectral e Frequências da Evapotranspiração Real para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro	45
9 Amplitude (mm), Fase (Graus) da Série de Fourier Ajustada aos Dados de Deficiência Hídrica para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, Período de 1924 a 1982, para Viçosa, MG, e a Percentagem da Variância Acumulada (%)	54
10 Amplitude (mm), Fase (Graus) da Série de Fourier Ajustada aos Dados do Excesso Hídrico para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, Período de 1924 a 1982, para Viçosa, MG, e a Percentagem da Variância Acumulada (%)	55
11 Densidade Espectral e Frequências da Deficiência Hídrica para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro	58
12 Densidade Espectral e Frequências do Excesso Hídrico para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro	58

LISTA DE FIGURAS

		Página
1	Temperatura do Ar "Normal", Média Anual Mensal, Médias Móveis de Cinco e Onze Anos para os Meses de Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d)	21
2	Correlograma da Temperatura Média do Ar para os Meses de Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d)	25
3	Densidade Espectral da Temperatura Média do Ar para os Meses de Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d)	27
4	Precipitação Pluvial "Normal", Anual Mensal, Médias Móveis de Cinco e Onze Anos para os Meses de Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d)	29
5	Correlograma da Precipitação Pluvial para os Meses de Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d)	33

Página

6	Densidade Espectral da Precipitação Pluvial para os Meses de Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d)	35
7	Evapotranspiração Potencial (EP) "Normal", Anual Mensal e Médias Móveis de Cinco e Onze Anos para os Meses de Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d)	37
8	Evapotranspiração Real (ER) "Normal" Mensal e Médias Móveis de Cinco e Onze Anos para os Meses de Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d)	40
9	Correlograma da Evapotranspiração Real (ER) para o Mês de Julho	44
10	Densidade Espectral da Evapotranspiração Potencial (EP) para os Meses de Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d)	46
11	Densidade Espectral da Evapotranspiração Real (ER) para os Meses de Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d)	47
12	Deficiência Hídrica "Normal", Anual Mensal, Médias Móveis de Cinco e Onze Anos para os Meses de Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d)	49
13	Excesso Hídrico "Normal", Anual Mensal, Médias Móveis de Cinco e Onze Anos para os Meses de Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d) ..	51
14	Correlograma da Deficiência Hídrica para o Mês de Julho (a) e Excesso Hídrico para o Mês de Janeiro (b)	14

15	Densidade Espectral da Deficiência Hídrica para os Meses de Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d)	59
16	Densidade Espectral do Excesso Hídrico para os Meses de Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d)	60

LISTA DE SÍMBOLOS

a_o	= harmônico zero da série de Fourier
a_n	= coeficiente da parte co-seno do n-ésimo harmônico da série de Fourier
b_n	= coeficiente da parte seno do n-ésimo harmônico da série de Fourier
C_n	= amplitude do n-ésimo harmônico da série de Fourier
f	= frequência, ciclos . s^{-1}
j	= 1, 2, 3, ..., (m - 4) e (m - 10)
k	= 4 (para médias móveis em 5 anos) 10 (para médias móveis em 11 anos)
$(k + 1)$	= número de observações para o intervalo de tempo, t
M	= número de observações
m	= defasagem do espectro, s
N	= último harmônico ajustado
n	= número de harmônico da série de Fourier
p	= período, s
$r(m)$	= coeficiente de autocorrelação para defasagem m
$r(\tau)$	= coeficiente de autocorrelação para defasagem τ
S^2	= variância da variável para a série considerada no intervalo de tempo t e t + τ
S_a^2	= percentagem da variância acumulada
S_n^2	= percentagem da variância do n-ésimo harmônico da série de Fourier

S_x^2	= percentagem da variância da série de Fourier ajustada para a variável x
t	= tempo, s
$\bar{t}$	= tempo médio, s
x_i	= variável periódica qualquer
$x_j, x_{j+1}, \dots, x_{j+k}$	= valores observados para os períodos de j a $j + k$
$\bar{y}_i$	= valores médios suavizados
x_t	= valor da variável para o tempo t
$\bar{x}$	= valor médio da variável para o intervalo de tempo t
ω	= frequência angular, $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
$p(f)$	= densidade espectral
$\rho(f_N/m)$	= densidade espectral suavizada
ϕ	= fase do n -ésimo harmônico da série de Fourier
τ	= defasagem, s

EXTRATO

OLIVEIRA SANTOS, O.C. de, M.S. Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 1984. *Análise dos Componentes do Balanço Hídrico Seriado para Viçosa, MG*. Professor Orientador: Gilberto C. Sedyama. Professores Conselheiros: Rubens Leite Vianello e Dirceu Teixeira Coelho.

Nesta pesquisa, estudou-se o comportamento das flutuações do balanço hídrico para o solo de Viçosa, MG. Utilizaram-se dados de temperatura média do ar e precipitação pluvial mensal, de 1924 a 1982. Calculou-se o balanço hídrico seriado anual, segundo o método de Thornthwaite e Mather, 1955. Por meio da técnica das médias móveis para cinco e onze anos, da análise harmônica (série de Fourier), da autocorrelação e da análise espectral, estudaram-se as variações que ocorreram nos componentes do balanço hídrico seriado, ao longo dos anos.

Para a análise harmônica, trabalhou-se com 28 harmônicos, obtendo-se as fases e as amplitudes. Por intermédio da função de autocorrelação, determinaram-se as relações existentes nas mesmas séries de dados em períodos diferentes e, por meio da análise espectral, analisaram-se as concentrações das variações em relação às frequências.

Por intermédio das médias móveis de onze anos, verificou-se uma tendência, nos últimos anos, para decréscimo da temperatura média do ar, da evapotranspiração potencial e da

evapotranspiração real, para os meses de verão e outono; enquanto que, para os de inverno e primavera houve uma tendência levemente positiva. Para o caso da deficiência hídrica, observou-se uma tendência de decréscimo para os meses de janeiro e julho e uma propensão de aumento para abril e outubro. O excesso hídrico apresentou tendências de aumento para janeiro e julho e decréscimo para abril e outubro.

A análise harmônica para as séries temporais da temperatura média do ar e da evapotranspiração potencial indicou harmônicos de ordens iguais para os meses de abril, julho e outubro.

As séries temporais dos componentes do balanço hídrico, para todos os meses estudados, de acordo com a função de autocorrelação, correspondem a um processo estocástico. E a análise espectral confirmou terem as séries temporais o comportamento de um ruído branco.

1. INTRODUÇÃO

O comportamento dos elementos climáticos tem grande influência na contabilização dos recursos hídricos, considerados importantes, principalmente quando se pensa em agricultura.

Uma das principais atividades econômicas do setor primário, a agricultura tem-se ressentido bastante pela grande variabilidade das chuvas, com relação à frequência e à quantidade, em quase todo o território brasileiro. Essas variações têm provocado sensíveis modificações no balanço hídrico do solo de diversas regiões, provocando perdas de safras como as que ocorreram em 1982, principalmente com relação ao milho, soja e trigo, devido a secas ou chuvas excessivas.

A chuva, a evapotranspiração e o runoff são os principais elementos do balanço hídrico (11).

Nas áreas tropicais, segundo JACKSON (8), as altas taxas de evaporação e as chuvas, na maioria dessas áreas, são caracteristicamente sazonais, limitando grandemente a disponibilidade de água para certos períodos do ano. Por outro lado, essas áreas podem ter excesso de precipitações pluviais nos períodos chuvosos, causando inundações e a erosão do solo, podendo esses excessos atingir aquelas áreas que não têm estação seca pronunciada.

Diante dessas características das regiões tropicais, MOLION (12), preocupado com os resultados do desmatamento da região Amazônica, estudou os balanços de água e de energia dessa região e concluiu que o fluxo de radiação e os mencionados balanços podem ser influenciados pelo desflorestamento, uma vez que haveria redução da umidade do solo e da evapotranspiração e aumento da temperatura da superfície. Tal aquecimento da superfície foi confirmado por VIANELLO (21), que, ao estudar a série de dados meteorológicos de Juiz de Fora, Zona da Mata Mineira, referentes ao período de 1893 a 1970, verificou que as elevações da temperatura foram mais rápidas imediatamente após o desmatamento.

MOLION (12) afirma que o decréscimo da evapotranspiração altera a distribuição e a quantidade de precipitação. VIANELLO (21), usando a metodologia desenvolvida por Thornthwaite em 1948, comprovou tal fato por meio do balanço hídrico seriado para Juiz de Fora, MG, concluindo que houve um aumento da deficiência hídrica, bem como um prolongamento no seu período.

A deficiência hídrica pode comprometer os processos bioquímicos e fisiológicos da planta, retardando, dessa forma, o desenvolvimento e o crescimento. Como resultado, tem-se a redução da produtividade agrícola. O excesso hídrico favorece, por outro lado, o aparecimento de doenças e pragas, além de provocar o escoamento superficial e a percolação, causadores da erosão e da lixiviação de nutrientes do solo, respectivamente.

O balanço de água, além das informações dos períodos de excesso e da deficiência hídrica, permite que, baseando-se nas grandezas dessas quantidades e na evapotranspiração potencial, determine-se os índices climáticos (19).

VIANELLO (21), utilizando a classificação climática de Thornthwaite, verificou, para o município de Juiz de Fora, MG, que o índice climático sofreu variações, passando de B_3 r para B_2 r, havendo, portanto, uma tendência em direção aos climas secos.

No Estado de Minas Gerais são poucos os conhecimentos das condições hídricas das áreas de cultivo. Em vista disso, objetivou-se com esta pesquisa, baseando-se no método de

THORNTHWAITE e MATHER, 1955 (20): a) estimar os componentes do balanço hídrico seriado para o período anual; b) estudar o comportamento dos componentes do balanço hídrico seriado, de acordo com as técnicas das médias móveis de cinco e onze anos, da análise harmônica, da função de autocorrelação e da análise espectral.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O balanço hídrico seriado, como um conjunto de eventos provenientes de processos aleatórios em sucessão, tem as características de uma série temporal.

A série temporal é um modelo que pode retratar um fenômeno que varia com o tempo (15). Pode ser composta somente de eventos determinísticos ou de eventos estocásticos, ou ainda de uma combinação dos dois. O componente determinístico pode ser classificado como: função periódica, função tendência, função degrau ou uma combinação destes (6).

A função periódica representa os fenômenos de caráter astronômico. A função tendência é resultante das modificações naturais ou provocadas pelo homem; e a função degrau é devido a catástrofes, como os incêndios florestais em grande escala (6).

Para estudar as séries temporais meteorológicas, recorre-se, muitas vezes, à análises harmônica da série de Fourier, porque ela é um tipo de análise que se adapta mais comumente às variações periódicas dos parâmetros meteorológicos, visto que ajuda a compreensão física das flutuações regulares (14).

AMARAL e SILVA (1), visando a apenas o sentido estatístico, tentaram prever os futuros valores das precipitações climáticas de uma determinada localidade. Para tal, usaram a análise harmônica sobre os valores totais ou médios do elemento climático e calcularam a média anual expressa em pentada

ou semana. Assim, obtiveram as periodicidades climáticas de período curto. Também, THIÉBAUT (18), com o mesmo objetivo, estudou o comportamento das precipitações pluviais de Viçosa, MG, para o período de 1924 a 1973. Recorrendo ao método da análise harmônica, auxiliado pelo cálculo matricial, estimou as precipitações dos períodos chuvoso (outubro a março) e seco (abril a setembro) e as precipitações mensais de janeiro a dezembro. Concluiu que 86,02% da precipitação anual é proveniente do período chuvoso; o mês de dezembro, o mais chuvoso, contribui com 19,9% da precipitação anual e julho é considerado o mês mais seco.

Com o objetivo de detectar periodicidades nas secas nordestinas, GIRARDI e TEIXEIRA (5) utilizaram a análise harmônica. De acordo com os resultados obtidos, concluíram que havia periodicidades com os ciclos dominantes correspondendo aos períodos de 25,6 a 12,8 anos. Todavia, NOBRE (13), preocupado com as possíveis previsões baseadas nessas periodicidades, ajustou dois modelos de previsão: um autoregressivo (simples persistência de ano para ano) e outro senoidal (soma das senóides de períodos de 13 a 26 anos). Verificou que este último foi o que se ajustou melhor aos dados. Contudo, as periodicidades de 13 e 26 anos explicavam somente 24% da variância da série. Portanto, a sua aplicabilidade à previsão de secas é de confiabilidade reduzida, além de o modelo estatístico de previsão fundamentar-se na pré-suposição de que as periodicidades teriam comportamento semelhantes no futuro. Ademais, não se tem conhecimento dos mecanismos físicos que originaram essas periodicidades com esses períodos, porquanto não se pode afirmar que elas continuarão a se manifestar no futuro.

Segundo PANOFISKY e BRIER (14), os diferentes harmônicos da série de Fourier podem ser tratados como entidades independentes, podendo-se associar a cada um deles uma causa física diferente.

Conforme BUTKOV (2), a série de Fourier, constituída pelas funções seno e co-seno, é expressa da seguinte maneira:

$$f(x) = a_0/2 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx) \quad \text{eq. 1}$$

Supondo-se que essa série convirja uniformemente no intervalo de $-\pi < x < \pi$, pode-se expressar os coeficientes por:

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} f(x) dx \quad \text{eq. 2}$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} f(x) \cos nx dx \quad (n \geq 0) \quad \text{eq. 3}$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} f(x) \sen nx dx \quad (n > 0) \quad \text{eq. 4}$$

Segundo HSU (7), a equação 1 pode também ser escrita:

$$f(x) = 1/2 a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos wnt + b_n \sen wnt) \quad \text{eq. 5}$$

Quando os dados disponíveis são constituídos de um número finito de elementos, como é o caso da temperatura do ar, precipitação, evapotranspiração potencial, etc, as equações 2, 3 e 4 devem ser escritas na forma de somatórios (9, 16):

$$a_0 = \frac{2}{M} \sum_{t=1}^M x_t \quad \text{eq. 6}$$

$$a_n = \frac{2}{M} \sum_{t=1}^M x_t \cos nwt \quad \text{eq. 7}$$

$$b_n = \frac{2}{M} \sum_{t=1}^M x_t \sen nwt \quad \text{eq. 8}$$

em que:

x_t = a variável aleatória em estudo

$n = 1, 2, 3, \dots$, n identifica o n -ésimo harmônico

$w = \frac{2\pi}{p}$, frequência angular da onda da variável estudada, $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$

t = tempo, s

p = período, s

M = número de observações

A equação 5, expressa apenas em termos de co-seno, tem a seguinte forma:

$$f(x) = a_0/2 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(n\omega t - \phi_n) \quad \text{eq. 9}$$

em que:

$$C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad \text{eq. 10}$$

C_n é a amplitude do harmônico n

$$\phi_n = \tan^{-1} b_n/a_n \quad \text{é a fase.} \quad \text{eq. 11}$$

Os estimadores da variância (S_n^2) e do desvio-padrão (S_n), para cada harmônico, são determinados pelas expressões:

$$S_n^2 = C_n^2/2 \quad \text{eq. 12}$$

$$S_n = \sqrt{C_n^2/2} \quad \text{eq. 13}$$

O estimador da variância (S_a^2) é obtida da soma das variâncias dos harmônicos:

$$S_a^2 = \sum_{n=1}^N S_n^2 \quad \text{eq. 14}$$

sendo N o último harmônico ajustado.

Os parâmetros meteorológicos apresentam flutuações ou desvios de pequena escala que ocorrem nos intervalos das observações. Essas flutuações, segundo CONRAD e POLLAK (4), podem ser detectadas com a diminuição do período das observações. O efeito dessas flutuações pode ser grandemente atenuado por meio das técnicas de suavização, tal como as médias móveis, conforme sugerem PANOFSKY e BRIER (14).

A técnica das médias móveis pode conduzir a superestimação da amplitude dos ciclos nas séries pré-filtradas. Essa superestimação pode ser duas a três vezes maior do que o verdadeiro ciclo mais amplo da série original, segundo Griffith e Howrey, citados por LEMOS (9).

TEIXEIRA *et alii* (17) e MARKHAM (10), quando estudaram as periodicidades das precipitações de Fortaleza, CE, utilizaram o método das médias móveis. Observaram que os mínimos absolutos da tendência coincidiam razoavelmente com o período de baixa das médias móveis. Com a finalidade de identificar ciclos aproximadamente de 13 e 26 anos, TEIXEIRA *et alii* (17) ampliaram o período das médias móveis de 3 para 7 anos e concluíram que, tanto as curvas das médias móveis de 7 anos e de tendência tiveram comportamentos semelhantes.

As médias móveis são calculadas pelas expressões:

$$y_i = (x_j + x_{j+1} + x_{j+2} + \dots + x_{j+k}) / (k+1) \quad \text{eq. 15}$$

em que:

$x_j, x_{j+1}, \dots, x_{j+k}$ = valores observados nos períodos
 $(k+1)$ = número de observações para o intervalo de tempo, t , que vai ser suavizado.

2.1. Autocorrelação na Série Temporal

Podem-se estudar as tendências por meio da técnica de autocorrelação, que significa correlação entre as observações na mesma série temporal. Para tanto, determinam-se os coeficientes de autocorrelações, que são coeficientes de correlações lineares, entre séries temporais iguais, em períodos diferentes (14). É um dos métodos para descrever um processo estocástico tendencioso (6), sendo definido por:

$$r(\tau) = \frac{\sum (x_t - \bar{x}) (x_{t+\tau} - \bar{x})}{S^2_M} \quad \text{eq. 16}$$

em que:

$r(\tau)$ = estimador do coeficiente de autocorrelação

x_t = valor da variável para o tempo t

$\bar{x}$ = estimador do valor médio da variável para o intervalo de tempo t

$x_{t+\tau}$ = valor da variável para o tempo $t + \tau$

S^2 = estimador da variância da variável para a série considerada.

Para pequenos valores de τ (defasagem), os coeficientes de autocorrelações meteorológicas são, normalmente, positivos. Quando a defasagem τ é muito grande e os processos inteiramente aleatórios, $r(\tau)$ é zero, podendo atingir valores negativos. Se o coeficiente de autocorrelação $r(\tau)$ para τ grande apresentar valores que não sejam zero, ele pode ser uma indicação de um componente determinístico. Se a defasagem τ for zero, o coeficiente de autocorrelação será igual a um (6, 14).

A função de autocorrelação é útil na medida em que fornece uma visão do enfraquecimento da dependência na série temporal que aumenta com a defasagem no tempo. Contudo, a função de autocorrelação é algumas vezes difícil de ser interpretada devido aos valores vizinhos que podem ser altamente correlacionados. Isso significa que a amostra da função de autocorrelação pode ser distorcida visualmente, segundo Johnston, citado por LEMOS (9).

A representação gráfica da função de autocorrelação contra a defasagem τ é chamada de correlograma, útil para verificar se as observações sucessivas são independentes (6).

MARKHAM (10), para estudar a série de dados de precipitação de Fortaleza-CE, de 1849 a 1970, recorreu à análise de autocorrelação a fim de verificar periodicidades que fossem úteis na predição de secas; ao traçar correlogramas para as séries anuais e médias móveis de cinco e treze anos, analisou que as flutuações nesses correlogramas aproximam-se de uma curva seno com um período de treze anos, mas com ciclos alternados superpostos.

2.2. Análise Espectral

Na prática, a análise espectral é obtida com a aplicação de análise harmônica para função de autocorrelação, porque, muitas vezes, as periodicidades dos dados têm a possibilidade de serem mais bem determinadas pela análise harmônica da frequência dominante (6).

A análise espectral não tenta determinar as amplitudes individuais de cada harmônico, porém é usada para resolução do espectro suavizado, igual para diferentes porções da mesma série temporal estacionária (14).

A teoria da análise da variância do espectro postula que uma série temporal seja uma amostra da população caracterizada pela variação sobre um espectro contínuo de frequências. A série temporal observada é uma amostra aleatória de um processo no tempo (ou espaço), composto de oscilações de todas das frequências possíveis. A variância do espectro por intervalo de frequência é, comumente, chamada de densidade espectral (6).

A densidade espectral depende da frequência angular, período ou frequência. No caso de a densidade espectral ser função de f , ω é representada por:

$$\omega = \frac{2\pi}{p} = 2\pi f.$$

Para uma série completamente aleatória de números não correlacionados, a função densidade espectral $\rho(f)$ é constante. Isso indica que as variâncias, para todos os intervalos de frequência, são iguais. No caso de uma função de autocorrelação, essa independência seria indicada por $r(\tau) = 0$ para $\tau \neq 0$ (6).

A relação entre a função de autocorrelação e a função densidade espectral, matematicamente, segundo HANN (6), é dada por:

$$\rho(f) = \int_{-\infty}^{\infty} r(\tau) \exp(-i2\pi f\tau) d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} r(\tau) \cos(2\pi f\tau) d\tau$$

eq. 17

De acordo com a transformação co-sênica de Fourier, tem-se que:

$$r(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho(f) \cos(2\pi\tau f) df \quad \text{eq. 18}$$

Para $\tau = 0$, tem-se que $r(0) = 1$ e $\cos(0) = 1$, daí ser

$$r(0) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho(f) df = 1, \quad \text{eq. 19}$$

que é a variância da série normalizada. Assim, $\rho(f)$ pode ser considerada uma função densidade probabilidade, que dá a contribuição da variância normalizada total contida no intervalo de frequência f_1 e f_2 . Se a covariância $(x_t, x_{t+\tau})$ for dada como função de autocorrelação, então $r(0)$ será igual à variância de x_t . Nesse caso

$$\int_{-\infty}^{\infty} \rho(f) df = \text{var}(x_t). \quad \text{eq. 20}$$

A função densidade espectral é útil na determinação de frequências que explicam a variância da série temporal (6).

Nas séries temporais discretas, a teoria espectral pode ser modificada para obter-se um conjunto de frequências discretas sobre as quais as variações estão distribuídas, recorrendo-se à frequência de Nyquist (f_N), que é a frequência da metade do ciclo por unidade de tempo (6).

$$f_N = 1/(2\Delta t) \quad \text{eq. 21}$$

E assim obterem-se informações sobre as oscilações com as mais altas frequências.

Uma amostra da função densidade espectral $\rho(f)$ pode ser calculada com base em $r(\tau)$ e na integração numérica da equação 17, cujo resultado é

$$\rho(f) = \Delta t \left| r(0) + 2 \sum_{\tau=1}^{m-1} r(\tau) \cos(2\pi\tau f) + r(m) \cos(2\pi mf) \right| \quad \text{eq. 22}$$

A frequência (f), para equação 22, é determinada de acordo com

$$f = \tau f_N / m \quad \text{eq. 23}$$

HANN (6) recomenda que a suavização dos valores da função densidade espectral, obtidos a partir da equação 22 deve ser feita segundo:

$$\rho(\tau f_N / m) = 0,25 \rho((\tau-1)f_N / m) + 0,5 \rho(\tau f_N / m) + 0,25 \rho((\tau+1)f_N / m) \quad \text{eq. 24}$$

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Município de Viçosa, localizado na Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, a $20^{\circ}45'$ de latitude Sul, $42^{\circ}51'$ de longitude Oeste.

Para o estudo das flutuações dos componentes do balanço hídrico do solo de Viçosa, foram utilizados os dados mensais de temperatura média do ar e precipitação pluvial, do período de 1924 a 1982, pertencentes aos arquivos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (U.F.V.).

De acordo com as normas do INEMET, até o ano de 1937 as temperaturas médias, $\bar{T}$, foram calculadas segundo a fórmula:

$$\bar{T} = (T_7 + T_{14} + 2T_{21})/4 \quad \text{eq. 25}$$

em que:

- T_7 = temperatura do ar às 7:00 (hora local)
- T_{14} = temperatura do ar às 14:00 (hora local)
- T_{21} = temperatura do ar às 21:00 (hora local)

e a partir de 1938

$$\bar{T} = (T_9 + T_{\max} + T_{\min} + 2T_{21})/5 \quad \text{eq. 26}$$

em que:

- T_9 = temperatura do ar às 9:00 (hora local)
 T_{21} = temperatura do ar às 21:00 (hora local)
 $T_{\max}$ = temperatura máxima do dia
 $T_{\min}$ = temperatura mínima do dia.

E, de acordo com as médias "normais" de 59 anos, apresenta o tipo climático úmido, com pequena deficiência de água, mesotermal, B_1 e B'_2 , segundo a classificação de THORNTHWAITE (19).

Quando as observações meteorológicas diárias existentes nos arquivos não correspondiam às parcelas conforme exigia a equação 26, calcularam-se as temperaturas médias diárias, levando-se em consideração apenas as médias das temperaturas máximas e mínimas.

Para o período de abril de 1942 a dezembro de 1948 e, especificamente, o ano de 1954, não foram registradas as observações de temperaturas máximas e mínimas. Dessa forma, obtiveram-se as temperaturas médias diárias utilizando a seguinte equação:

$$\bar{T} = (T_9 + T_{15} + 2T_{21})/4 \quad \text{eq. 27}$$

em que:

- T_{15} = temperatura do ar às 15:00 (hora local).

Para determinar o balanço hídrico do solo de Viçosa, MG, optou-se pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), e a capacidade de água disponível de 125 mm, considerando esse valor representativo dos solos ocupados por pastagens naturais. Para tal, usaram-se os dados mensais de temperatura média e precipitação pluvial, obtendo-se assim o balanço hídrico seriado de 1924 a 1982.

Baseando-se nos resultados obtidos do balanço hídrico seriado, escolheram-se os meses de janeiro, abril, julho e outubro, para realizarem-se as análises dos componentes do balanço hídrico, considerados representativos das estações do ano: verão, outono, inverno e primavera, respectivamente.

Para estudar as possíveis variações ao longo dos anos dos componentes do balanço hídrico, recorreu-se aos seguintes métodos:

- médias móveis
- análise harmônica
- autocorrelação
- análise espectral.

A média móvel é um dos métodos utilizado na homogeneização dos dados (9,10,14,17), visto que ela visa à exclusão dos desvios de pequena escala (14). Sendo assim, para essa pesquisa, foram tomadas as médias aritméticas móveis de cinco e onze anos para os dados mensais de temperatura média, precipitação pluvial, evapotranspiração potencial, evapotranspiração real, deficiência hídrica e excesso hídrico. Para tal, usou-se a equação 15, ou seja:

$$\bar{y}_i = (x_j + x_{j+1} + x_{j+2} + \dots + x_{j+k}) / (k + 1)$$

$$k = \begin{cases} 4 & \text{(para médias móveis em cinco anos)} \\ 10 & \text{(para médias móveis em onze anos)} \end{cases}$$

$$i = 6, 7, 8, \dots, 49 \text{ (para médias móveis em onze anos)}$$

$$i = 3, 4, 5, \dots, 55 \text{ (para médias móveis em cinco anos)}$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, 59 \text{ (de 1924 a 1982).}$$

Após a obtenção das médias "normais" para 59 anos e das médias móveis de cinco e onze anos para cada componente do balanço hídrico seriado, traçaram-se gráficos para essas médias, por meio dos quais foi possível visualizarem-se a homogeneização dos componentes do balanço hídrico.

Para ter-se as possíveis periodicidades dos componentes do balanço, ao longo dos anos, recorreu-se à análise harmônica, expressa por meio da série de Fourier, isto é:

$$f(x) = a_0/2 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nwt + b_n \sin nwt)$$

em que os coeficientes foram obtidos do seguinte modo:

$$a_o = 2/M \sum_{t=1}^M x_t$$

$$a_n = 2/M \sum_{t=1}^M x_t \cos nwt$$

$$b_n = 2/M \sum_{t=1}^M x_t \sin nwt$$

Conhecidos os coeficientes, recorreu-se a equação 9:

$$f(x) = a_o/2 + \sum_{t=1}^M C_n \cos (nwt - \phi_n)$$

sendo

$$C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

$$\phi_n = \tan^{-1}(b_n/a_n)$$

e, assim, foi possível determinar a amplitude e a fase de cada harmônico.

Para a seleção dos harmônicos que melhor explicassem a periodicidade dos dados observados, recorreu-se à análise de variância dos harmônicos.

$$S_n^2 = C_n^2/2$$

e a variância acumulada por:

$$S_a^2 = \sum_{n=1}^N S_n^2$$

Após a seleção dos harmônicos, foi possível, levando-se em conta a ordem do harmônico, determinar o número de ondas

descritas para cada componente e, baseando-se na fase, calculou-se o período de defasagem das ondas.

Em decorrência ao estudo das tendências, procurou-se, por meio da função de autocorrelação, estabelecer as relações existentes na mesma série de dados em períodos diferentes. Essas relações foram determinadas por intermédio dos coeficientes de autocorrelações. Para tal, utilizou-se a equação 16:

$$r(\tau) = \frac{\sum (x_t - \bar{x})(x_{t+\tau} - \bar{x})}{S^2_M}$$

Tendo-se por base os coeficientes de autocorrelações nas ordenadas e os atrasos nas abscissas, traçaram-se os correlogramas para os meses em estudo para cada componente do balanço. Procurou-se, por intermédio dos correlogramas, identificar se a série temporal era constituída de componentes puramente aleatórios (processo aleatório ou estocástico), ou seja, se as observações sucessivas eram independentes, ou se a série temporal era constituída de elementos aleatórios associados a um componente determinístico. Esse componente determinístico pode ser representado por uma função periódica, função tendência ou função degrau.

Para o conhecimento da banda de frequência em que houve maior concentração das flutuações, utilizou-se a função densidade espectral, que indica a relação entre a função de autocorrelação e a função espectral.

A função da densidade espectral foi expressa pela equação 22:

$$\rho(f) = \Delta t \left| r(0) + 2 \sum_{\tau=1}^{m-1} r(\tau) \cos(2\pi\tau f) + r(m) \cos(2\pi mf) \right|$$

Como os elementos da série de dados utilizados neste estudo eram constituídos de variáveis discretas na determinação da frequência (f), utilizaram-se a frequência de Nyquist (f_N), o número de atraso (τ) e o número máximo de atraso (m), que no caso correspondeu a cinquenta e oito anos de defasagens para cada mês.

A frequência de Nyquist foi expressa por:

$$f_N = 1/(2\Delta t)$$

e a frequência f por:

$$f = \tau f_N / m$$

Como os valores obtidos para as densidades espectrais apresentaram grandes desvios, realizou-se filtração desses desvios, utilizando um método de suavização expresso pela equação 24:

$$\rho(\tau f_N / m) = 0,25 \rho(\tau-1) f_N / m) + 0,5 \rho(\tau f_N / m) + 0,25 \rho(\tau+1) f_N / m)$$

Para $\tau = 1, 2, \dots, m-1$

Normalmente, um dos picos da densidade espectral ocorre para o primeiro atraso, segundo CHU (3); isso é uma consequência da tendência dos dados. Sendo assim, esses valores obtidos para as densidades espectrais não foram considerados para a análise.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta pesquisa foi desenvolvida para o município de Viçosa-MG, com a finalidade de estudar as flutuações do balanço hídrico para o solo de pastagem natural. Para tal, foram utilizados os dados de temperatura do ar e precipitação pluvial de 1924 a 1982.

Levando-se em conta o método de THORNTHWAITE e MATHER, 1955 (19), determinaram-se todos os componentes do balanço hídrico. E, conforme a metodologia apresentada no capítulo anterior, procurou-se identificar as possíveis flutuações, as tendências desses componentes do balanço hídrico.

Apresentam-se, a seguir, alguns resultados das análises dos componentes do balanço hídrico ao longo dos 59 anos, de 1924 a 1982, para os meses de janeiro, abril, julho e outubro. Meses escolhidos como representativos das estações do ano, verão, outono, inverno e primavera.

4.1. *Temperatura do Ar*

Baseando-se nos valores obtidos a partir das médias móveis de cinco anos, identificou-se, para os meses de janeiro, abril, julho e outubro, no período de 1924 a 1931, que esteve abaixo da temperatura média "normal", calculada para cinquenta e nove anos.

O período de estabilidade de temperatura média do ar para os meses de janeiro, abril, julho e outubro ocorreu em períodos diferentes (Figuras 1a, 1b, 1c e 1d).

Quando se utilizou a técnica das médias móveis de cinco anos, notou-se que houve maior número de ciclos para os meses estudados do que quando se recorreu às médias móveis de onze anos (Figuras 1a, 1b, 1c e 1d). Isso já era esperado, porque as irregularidades são aleatórias, nesse período, e à medida que aumenta o período das médias móveis, há melhor filtração dessas irregularidades (4).

Com a técnica das médias móveis de onze anos, obteve-se melhor delineação dos ciclos e uma ampliação nos períodos desses ciclos, e assim, obteve-se uma superestimação do período do ciclo original.

No mês de outubro, identificaram-se apenas dois semiciclos, um com decréscimo de temperatura, 1924 a 1926, abaixo da "normal", e um outro com aumento de temperatura, 1933 a 1946, acima da "normal".

Janeiro, o mês mais quente, foi o que mais apresentou variações, supondo-se que seja devido às possíveis instabilidades do ar atmosférico nessa época de verão.

Verificou-se que o período da temperatura constante, para o mês de outubro, prolongou-se de dois para sete anos, 1961 a 1967. E o mês de abril foi aquele que teve mais períodos de estabilidade, sendo que, os que tiveram maior duração foram os que ocorreram por volta de 1949 a 1961 e 1963 a 1971. O último período de estabilidade do mês de abril coincidiu com os períodos de estabilidades que ocorreram nos meses de julho, 1969 a 1972, e outubro, 1961 a 1967; enquanto que o primeiro período coincidiu com o período de estabilidade que surgiu nos meses de janeiro, 1957 a 1960, e julho, 1953 a 1956 (Figuras 1a, 1b, 1c e 1d).

Também notou-se que, por volta de 1935 a 1950, os meses apresentaram um aumento na temperatura média do ar, o que foi bem notório para os meses de julho e outubro (Figuras 1a, 1b, 1c e 1d).

A temperatura média do ar nos últimos 10 anos tem aumentado tanto para o inverno como para a primavera acima da

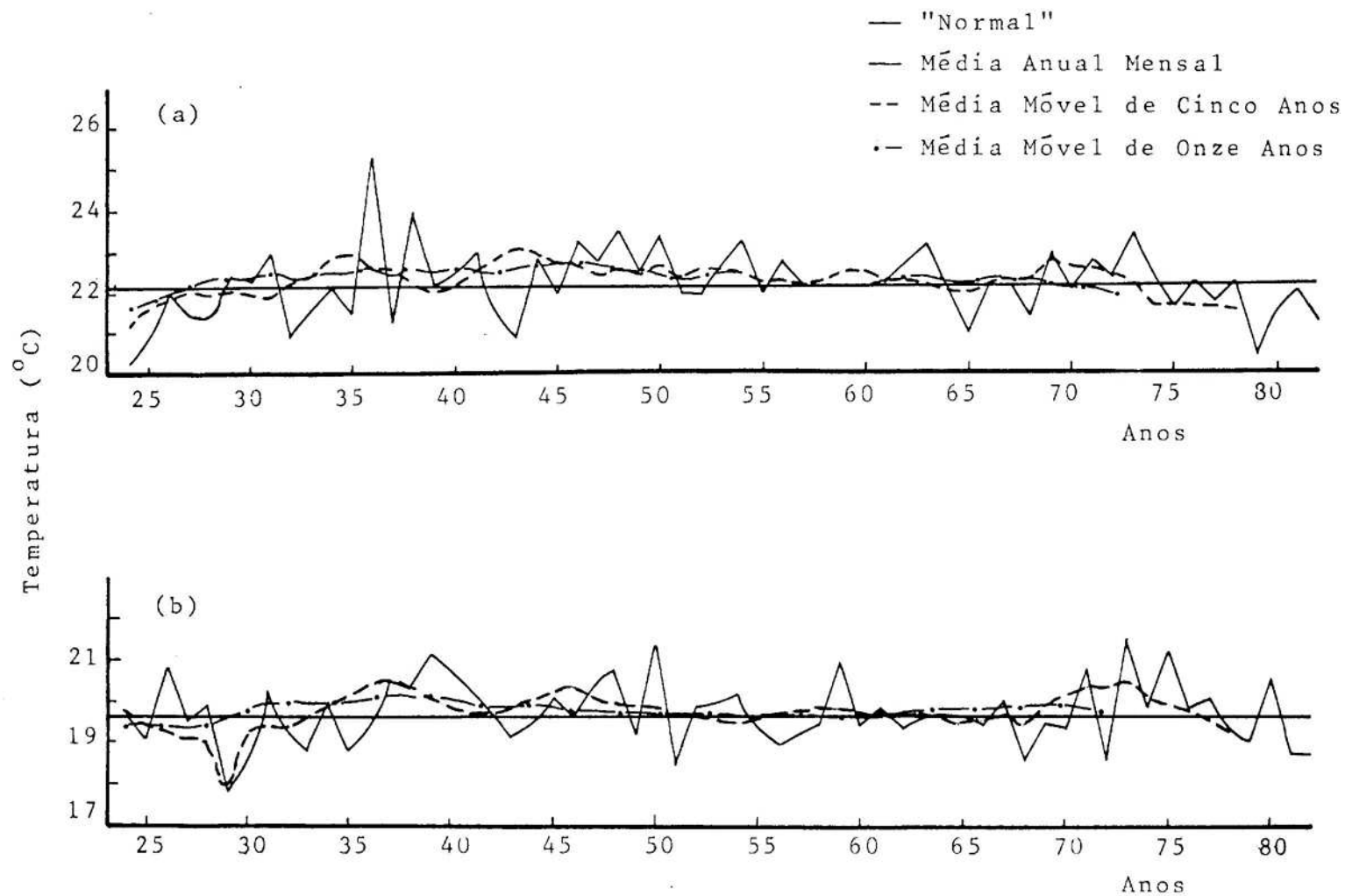


FIGURA 1 - Temperatura "Normal", Média Anual Mensal e Médias Móveis de Cinco e Onze Anos para os Meses de Janeiro (a) e Abril (b)

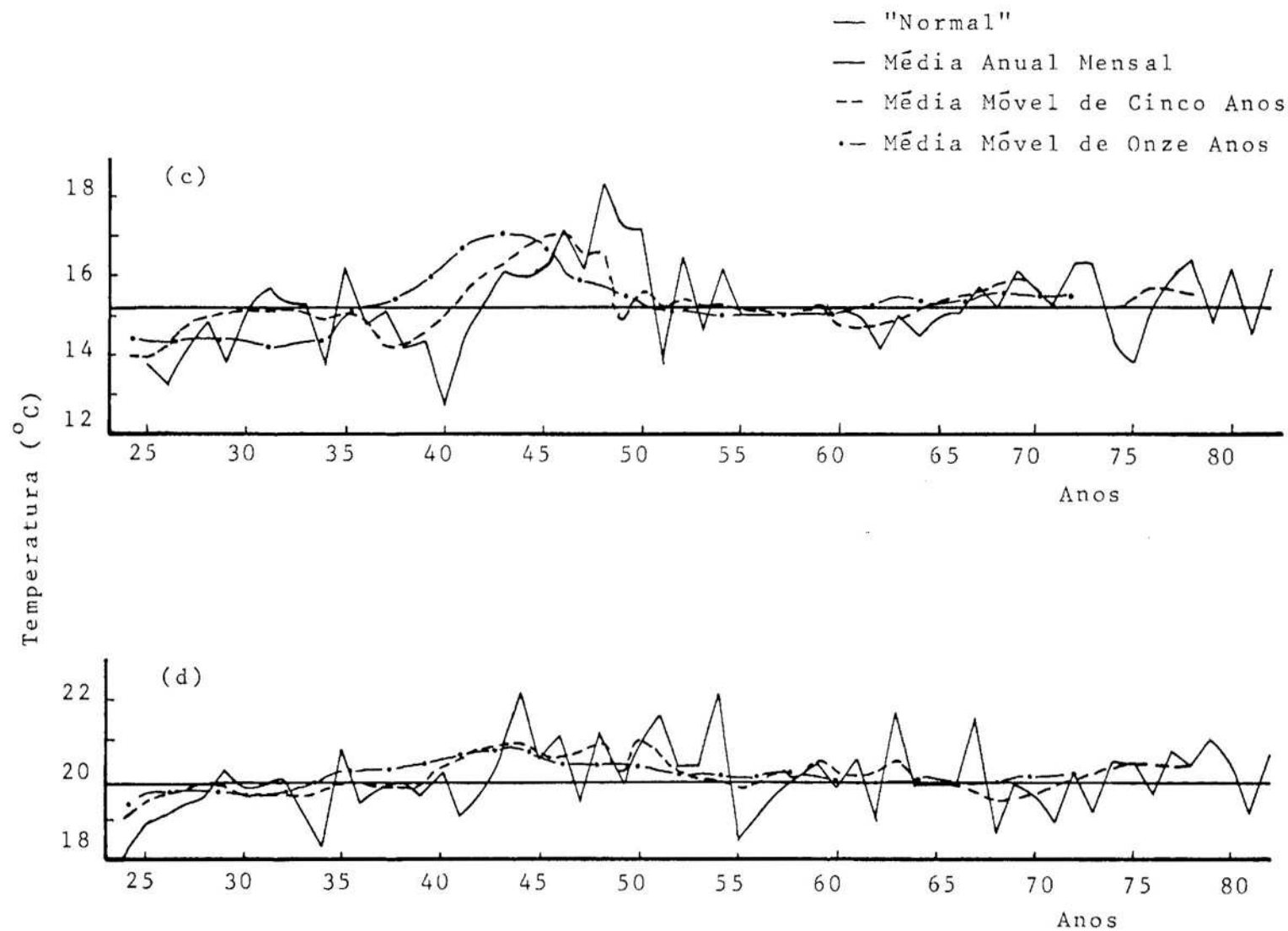


FIGURA 1 - Temperatura "Normal", Média Anual Mensal e Médias Móveis de Cin-
co e Onze Anos para os Meses de Julho (c) e Outubro (d)

"normal"; enquanto que as de outono e verão têm apresentado um decréscimo de temperatura, abaixo da "normal", como é o caso do mês de janeiro (Figuras 1a, 1b, 1c e 1d).

Ao estudar a série de dados por intermédio de análise harmônica com a série de Fourier, obteve-se os harmônicos que apresentaram maiores amplitudes e, conseqüentemente, as maiores percentagens de variância acumulada.

O Quadro 1 apresenta os harmônicos, as amplitudes, as fases e as percentagens de variância acumulada para os meses de janeiro, abril, julho e outubro. Para o mês de janeiro, destacaram-se o 7º, o 13º e o 25º harmônicos. Para abril, o harmônico 5º e 25º; para os meses de julho e outubro, os harmônicos de ordens 5 e 4 e 19, 4 e 8, respectivamente (Quadro 1).

Ao analisar a função de autocorrelação, para o estudo das tendências, por meio dos correlogramas, verificou-se que os dados das séries de temperatura, para os meses de janeiro, abril, julho e outubro, não estão significativamente correlacionados entre si, portanto, são linearmente independentes. Isso quer dizer que cada série de dados, para cada mês, apresentou um comportamento aleatório, e a série de dados pode ser considerada constituída de elementos estocásticos (Figuras 2a, 2b, 2c e 2d).

Levando-se em consideração os valores obtidos para a densidade espectral, identificou-se que a distribuição das ondulações pelos intervalos de frequências eram iguais, isto é, não houve concentrações de oscilações para uma determinada faixa de frequência. Em conseqüência dessa característica, pode-se dizer que a série é um ruído branco, visto que a densidade é quase uma constante (Figuras 3a, 3b, 3c e 3d). Todavia, podem-se visualizar aparentes concentrações de oscilações para determinadas frequências (Quadro 2).

4.2. Precipitação

Devido aos grandes desvios apresentados pelos dados de precipitação pluvial ao longo dos anos, verificou-se que, ao usar o método das médias móveis de cinco e onze anos houve certas divergências, entre as quais: dois períodos de estabilidade pluvial, identificados para o mês de outubro, 1934 a

QUADRO 1 - Amplitude ($^{\circ}\text{C}$), Fase (Graus) da Série de Fourier Ajustada aos Dados de Temperatura Média do Ar para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, Período de 1924 a 1982, para Viçosa, MG, e a Percentagem da Variância Acumulada (%)

Harmônico	Janeiro			Abril			Julho			Outubro		
	Amplitude	Fase	%	Amplitude	Fase	%	Amplitude	Fase	%	Amplitude	Fase	%
1ª	0,4340	162,8	12,7	0,1301	179,2	1,3	0,4109	184,3	7,5	0,3692	175,4	8,4
2ª	0,2586	206,6	17,2	0,3299	239,7	9,7	0,6029	275,2	23,5	0,3231	281,5	14,8
3ª	0,2979	170,6	23,2	0,1850	255,5	12,3	0,4126	113,6	31,0	0,0650	25,4	15,0
4ª	0,1018	185,8	23,9	0,0394	134,6	12,4	0,4515	217,4	40,0	0,3574	223,4	22,9
5ª	0,2506	47,9	28,1	0,3922	73,7	24,3	0,4989	294,9	51,0	0,2526	182,9	26,9
6ª	0,1421	143,1	29,4	0,1215	135,2	25,4	0,2026	206,0	52,8	0,0765	231,3	27,2
7ª	0,3650	228,9	38,4	0,1537	325,6	27,2	0,1816	247,4	54,3	0,2383	156,9	30,7
8ª	0,0419	335,9	38,5	0,1656	25,0	29,3	0,1352	187,0	55,1	0,3368	262,6	37,7
9ª	0,1390	280,5	39,8	0,2947	135,5	36,0	0,1082	306,5	55,6	0,0894	67,4	38,2
10ª	0,0354	333,5	39,8	0,0577	122,9	36,3	0,3888	39,5	62,7	0,0730	154,2	38,5
11ª	0,1274	61,0	40,9	0,2688	178,9	41,9	0,1132	214,5	63,3	0,0876	185,6	39,0
12ª	0,0597	118,8	41,1	0,1313	122,8	43,2	0,2393	299,8	65,8	0,1740	19,3	40,9
13ª	0,3479	208,1	49,2	0,1820	182,5	45,8	0,2679	55,1	68,9	0,2261	182,9	44,1
14ª	0,0469	237,3	49,3	0,0655	21,7	46,1	0,1735	241,4	70,2	0,1082	343,8	44,8
15ª	0,1769	191,9	51,4	0,1183	264,5	47,1	0,0996	62,5	70,6	0,2355	304,7	48,2
16ª	0,2029	178,4	54,2	0,0465	287,4	47,3	0,1393	347,7	71,5	0,0439	114,2	48,3
17ª	0,1242	117,6	55,2	0,1023	39,8	48,1	0,2526	52,9	74,3	0,1917	182,2	50,6
18ª	0,1032	345,2	55,9	0,2724	21,4	53,8	0,0515	246,8	74,4	0,1558	31,3	52,1
19ª	0,2329	202,5	59,6	0,1301	64,0	55,1	0,1356	288,0	75,2	0,3962	230,9	61,8
20ª	0,1204	6,0	60,6	0,0824	302,0	55,6	0,0604	162,0	75,3	0,0791	129,4	62,2
21ª	0,2099	82,1	63,6	0,2303	147,6	59,7	0,1181	19,3	75,9	0,1964	293,2	64,5
22ª	0,1694	168,1	65,5	0,2282	269,7	63,7	0,1081	126,7	76,4	0,2416	348,5	68,1
23ª	0,2514	224,3	69,7	0,1943	331,4	66,6	0,0646	215,7	76,5	0,3288	202,6	74,8
24ª	0,3237	330,7	76,7	0,1099	287,5	67,5	0,1745	210,2	77,8	0,1379	189,1	76,0
25ª	0,3456	2,3	84,7	0,3469	309,3	76,7	0,1933	264,5	79,4	0,3216	182,5	82,4
26ª	0,0597	66,6	84,9	0,2827	208,0	82,9	0,2434	213,7	82,0	0,1055	37,2	83,1
27ª	0,2177	183,3	88,1	0,1839	271,4	85,5	0,4181	294,3	89,7	0,1972	322,1	85,5
28ª	0,2472	183,1	92,2	0,2721	108,6	91,2	0,3875	128,5	96,3	0,4463	154,6	97,8

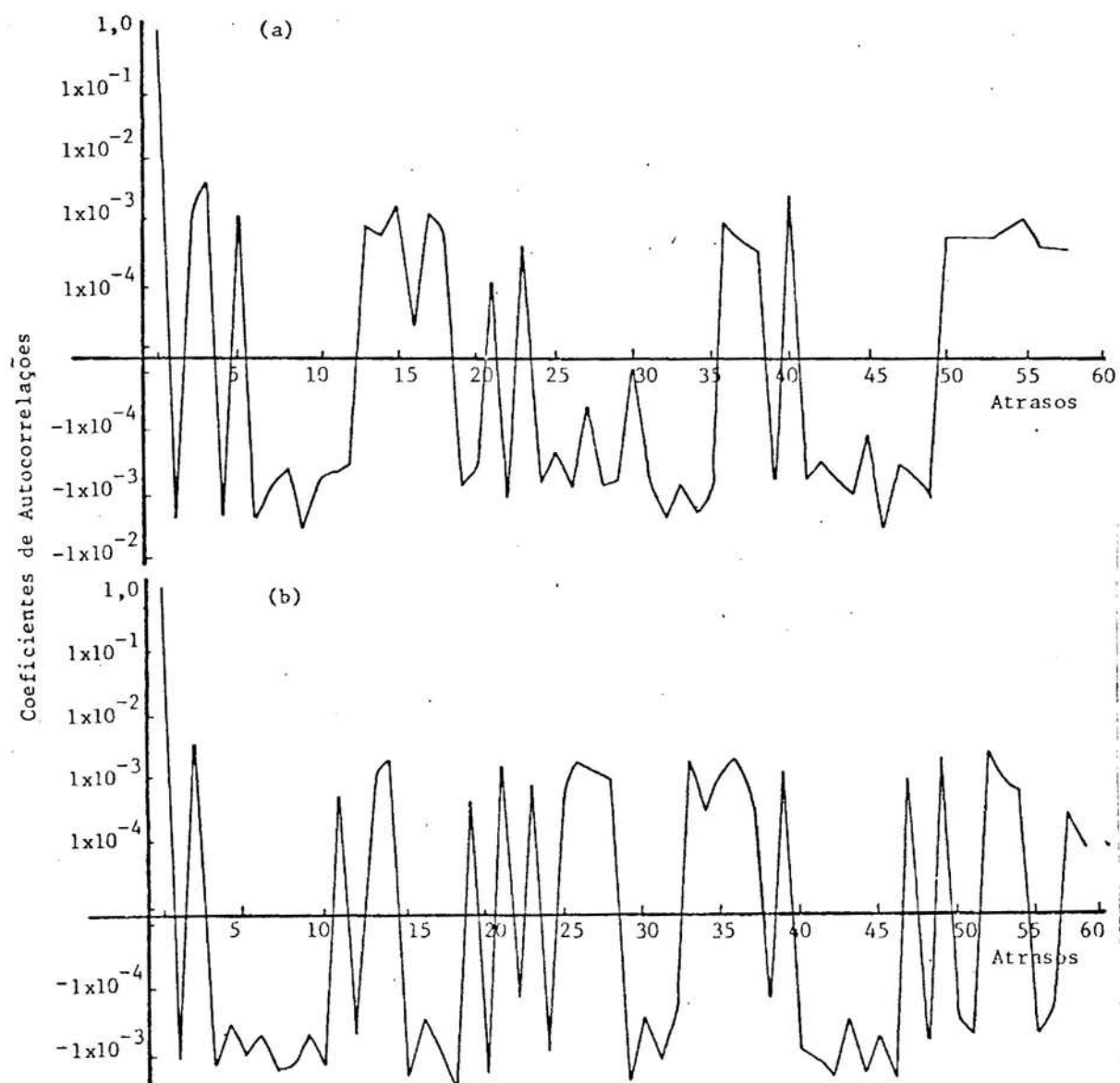


FIGURA 2 - Correlograma da Temperatura Média do Ar para os Me-
ses de Janeiro (a) e Abril (b)

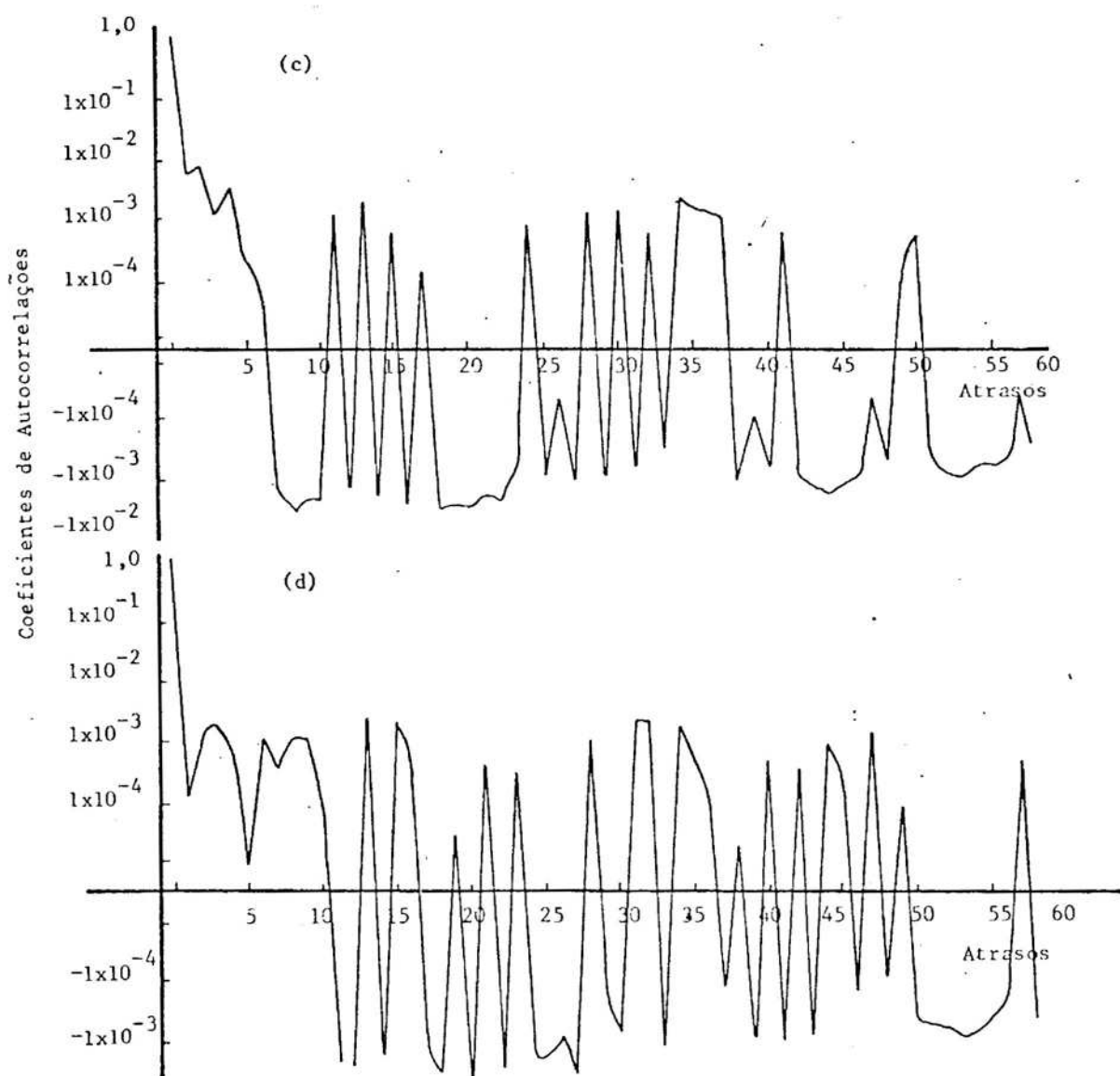


FIGURA 2 - Correlograma da Temperatura Média do Ar para os Me-
ses de Julho (c) e Outubro (d)

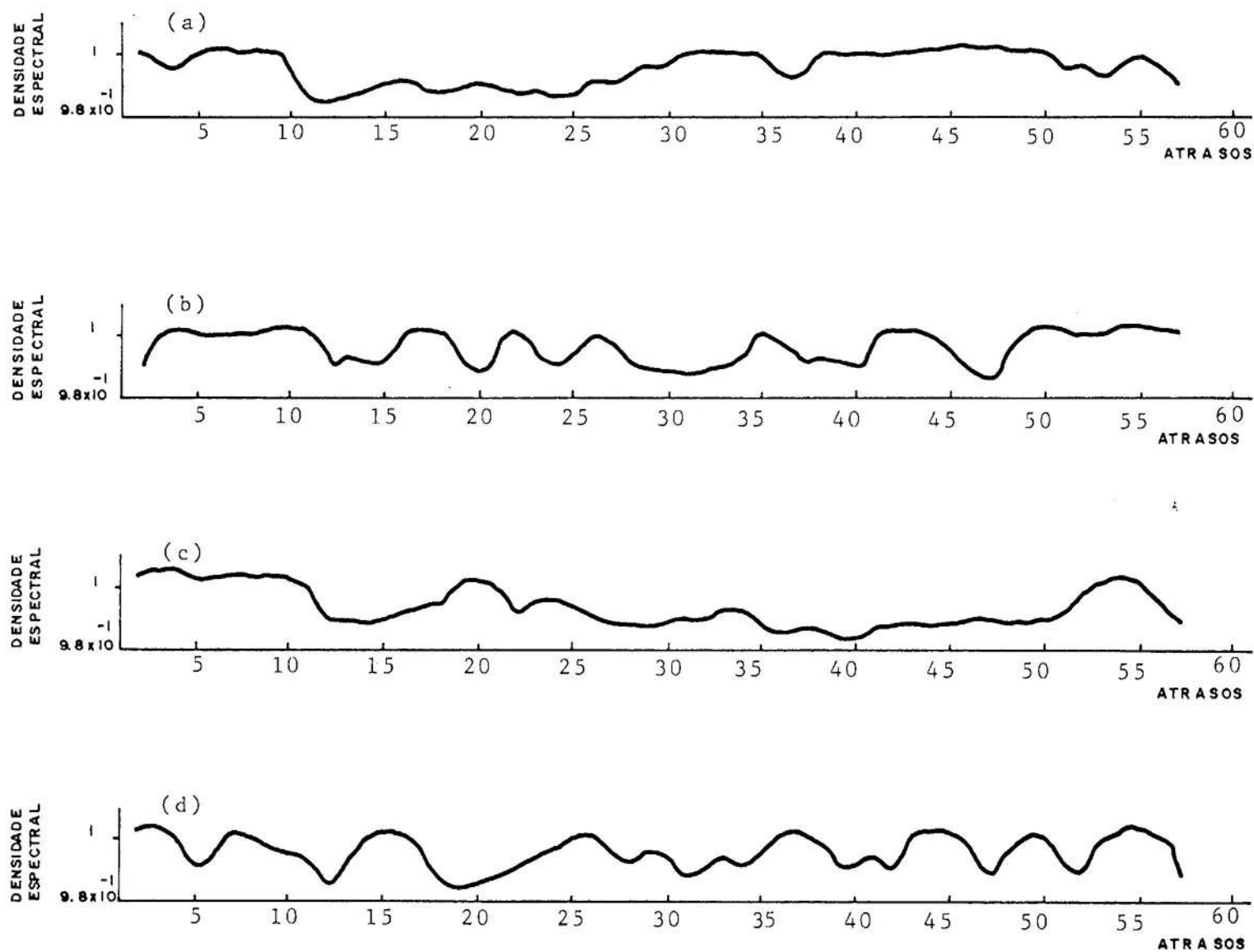


FIGURA 3 - Densidade Espectral da Temperatura Média do Ar para os Meses de Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d)

QUADRO 2 - Densidade Espectral e Frequência da Temperatura para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro

Meses	Densidade Espectral		Frequência	
	$\rho(f)_{\max}$	$\rho(f)_{\min}$	$f_{\rho(f)\max}$	$f_{\rho(f)\min}$
Janeiro	1,02	$9,85 \times 10^{-1}$	$5,17 \times 10^{-2}$	$9,48 \times 10^{-2}$
Abril	1,02	$9,86 \times 10^{-1}$	$7,76 \times 10^{-2}$	$3,97 \times 10^{-1}$
	1,02	-	$8,62 \times 10^{-2}$	-
Julho	1,05	$9,83 \times 10^{-1}$	$2,59 \times 10^{-2}$	$3,45 \times 10^{-1}$
	1,04	-	$3,45 \times 10^{-2}$	-
Outubro	1,03	$9,84 \times 10^{-1}$	$2,59 \times 10^{-2}$	$1,64 \times 10^{-1}$
	1,02	-	$3,19 \times 10^{-1}$	-

1943, e 1956 a 1960, quando se trabalhou com as médias móveis de onze anos; enquanto que, para as médias móveis de cinco anos, esses períodos corresponderam a flutuações e semiciclos (Figura 4d). Isso é uma consequência esperada, visto que, à medida que se aumenta o período das médias móveis, há melhor filtração dos desvios que ocorreram nas observações (13). Sendo assim, houve uma expansão nos períodos dos ciclos, segundo Griffith e Howrey, citados por LEMOS (9).

Baseando-se nos valores de precipitação pluvial, obtidos a partir das médias móveis de onze anos, notou-se que:

a) houve um período de regularidade pluvial para os meses de julho e outubro, por volta de 1934 a 1943, enquanto para o mês de abril foi de 1941 a 1947 (Figuras 4b, 4c e 4d);

b) os dados de precipitação pluvial, para os meses de janeiro e outubro, correspondentes aos anos de 1943 a 1957, estiveram abaixo da "normal" de 59 anos (Figuras 4a e 4d);

c) os valores de precipitação pluvial para abril, a partir de 1958, estiveram abaixo da "normal"; enquanto que, para o mês de outubro, estiveram acima da "normal". Entretanto,

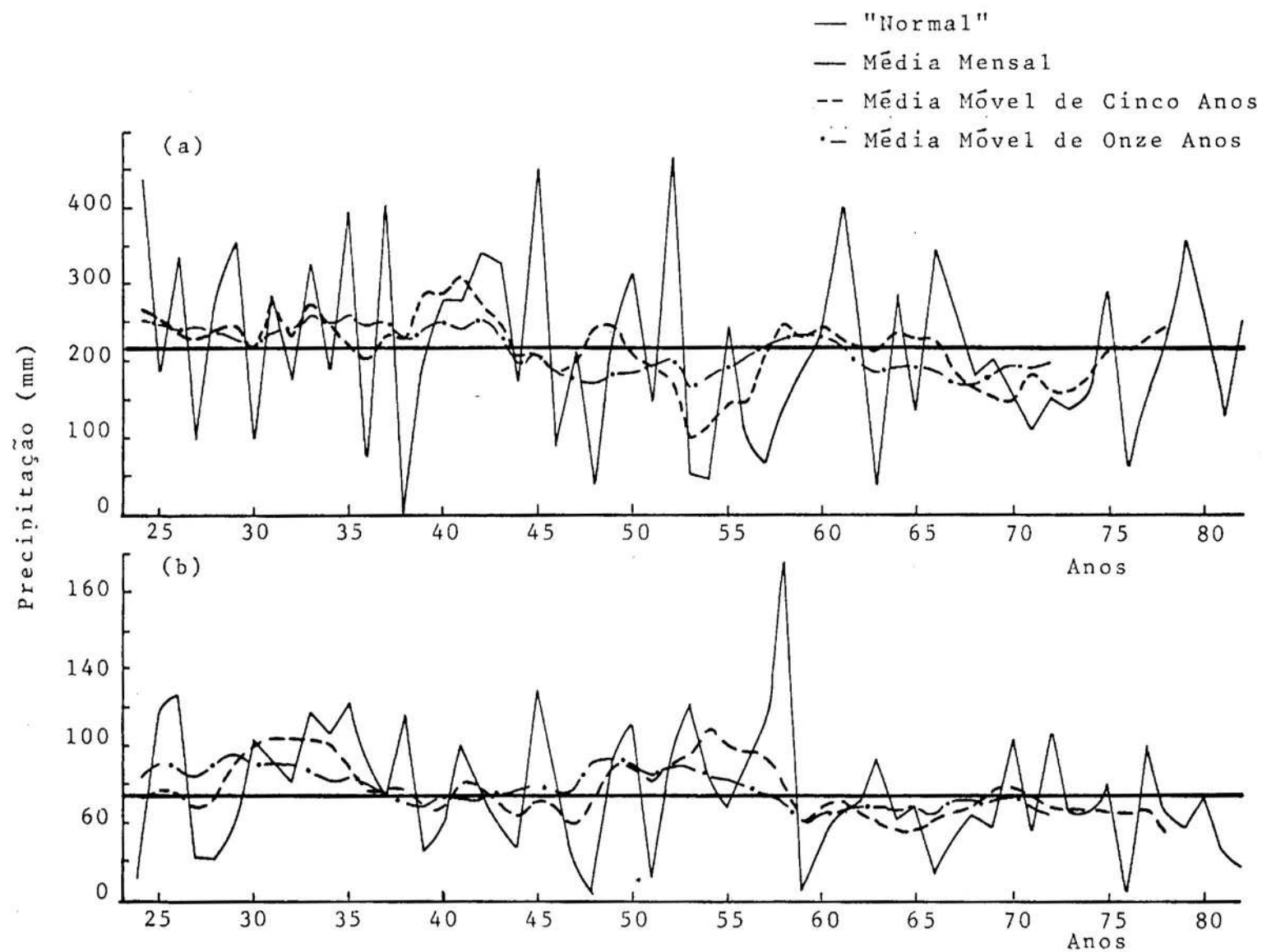


FIGURA 4 - Precipitação Pluvial "Normal", Média Anual e Médias Móveis de Cinco e Onze Anos para os Meses de Janeiro (a) e Abril (b)

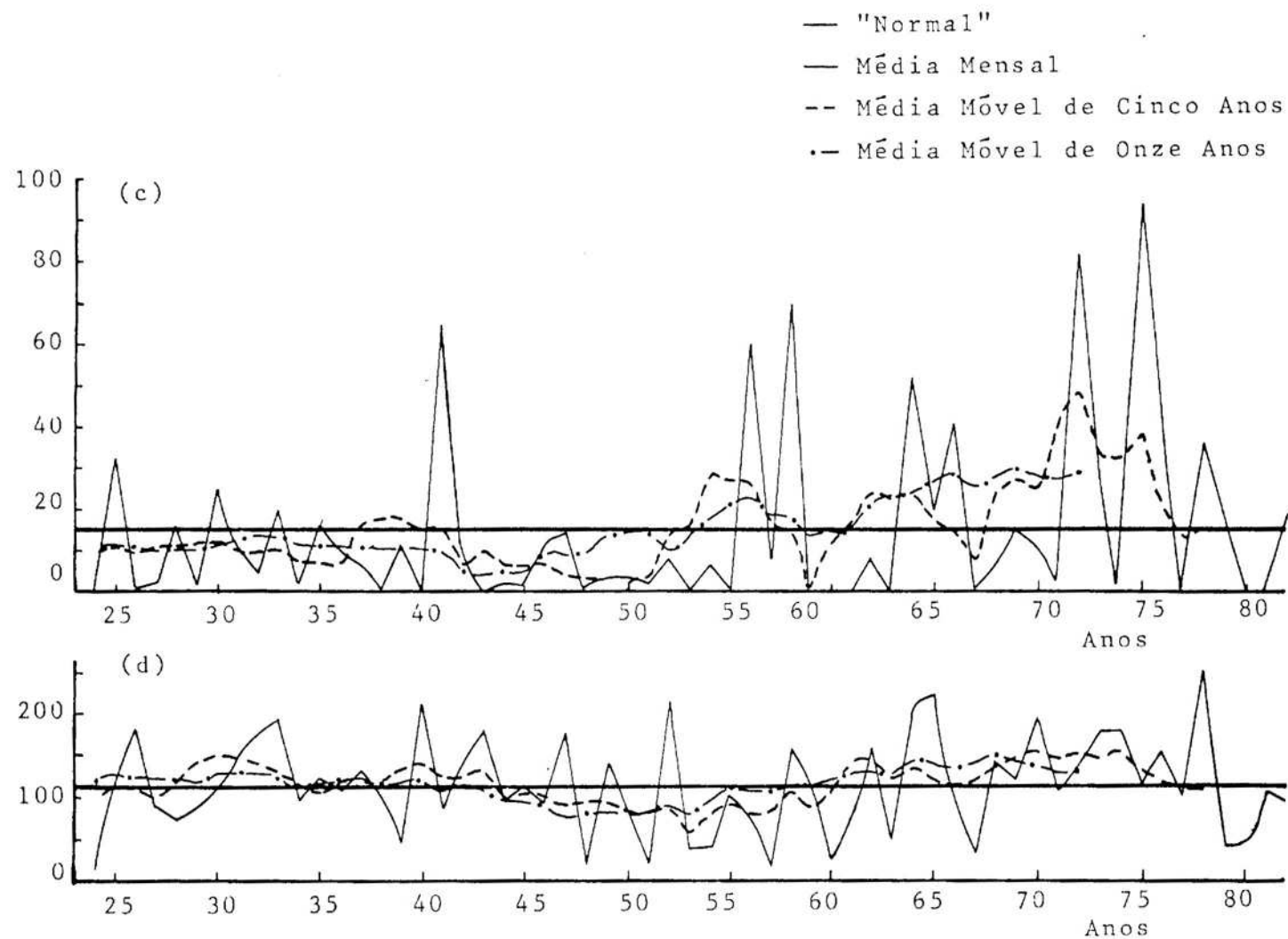


FIGURA 4 - Precipitação Pluvial "Normal, Média Anual Mensal e Médias Móveis de Cinco e Onze Anos para os Meses de Julho (c) e Outubro (d)

esses meses apresentaram tendência para decréscimo de precipitação. A partir de 1962, esses valores para o mês de janeiro, permaneceram abaixo da "normal"; enquanto que, para o mês de julho, estiveram acima. Todavia, verifica-se que, a partir de 1973, houve indícios de tendências para aumento da precipitação para o mês de janeiro, principalmente para as médias móveis de 5 anos (Figuras 4a, 4b, 4c e 4d).

Quando se empregou a análise harmônica, por meio da série de Fourier, para estudar as variações das séries de dados de precipitações, observou-se que, de acordo com as percentagens de variância acumulada e com as amplitudes dos harmônicos, para os meses de janeiro, abril, julho e outubro (Quadro 3), os harmônicos que apresentaram as maiores percentagens foram: os de ordens 3, 7, 20 e 25 para o mês de janeiro e os de ordens 15 e 24; 7 e 21; e 18, 19 e 20 para os meses de abril, julho e outubro, respectivamente.

Por meio dos correlogramas, que é a representação da função de autocorrelação, identificou-se que os dados que constituem a série temporal dos meses em estudo não estão significativamente correlacionados entre si. Portanto, não há um evento que ofereça qualquer tentativa de previsões para o futuro e, por isso, a série temporal pode ser considerada um processo estocástico (Figuras 5a, 5b, 5c e 5d).

A análise espectral, expressa por meio da densidade espectral (Figuras 6a, 6b, 6c e 6d), mostrou que a distribuição da variância do espectro é igual para todas as faixas de frequências (Quadro 4), por isso a série é chamada de ruído branco.

QUADRO 3 - Amplitude (mm) e Fase (Graus) da Série de Fourier Ajustada aos Dados de Precipitação para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, Período de 1924 a 1982, para Viçosa, MG, e a Percentagem da Variância Acumulada (%)

Harmônico	Janeiro			Abril			Julho			Outubro		
	Amplitude	Fase	%	Amplitude	Fase	%	Amplitude	Fase	%	Amplitude	Fase	%
1º	32,4273	57,7	3,8	8,1324	121,1	2,8	8,1664	289,3	2,6	12,2419	347,9	2,1
2º	6,9572	121,8	4,0	8,2995	82,1	5,8	3,9429	219,2	6,6	24,1229	192,3	10,2
3º	40,0979	6,0	9,8	13,6702	197,6	13,8	6,0467	228,5	7,8	7,6266	137,7	11,1
4º	16,3139	271,0	10,8	4,1642	89,5	14,5	5,7990	118,5	9,2	13,9803	172,4	13,8
5º	8,4407	175,4	11,3	5,9245	307,6	16,0	3,3219	162,0	16,1	8,8737	160,0	14,9
6º	30,182	296,1	14,6	6,4778	18,9	17,8	5,1022	75,5	22,5	11,0740	2,9	16,6
7º	41,7641	81,3	20,9	3,8868	89,5	18,4	8,8156	333,6	25,0	7,9750	20,9	17,5
8º	21,0715	253,0	22,5	7,8700	135,3	21,1	5,0159	160,4	26,1	12,9691	115,1	19,8
9º	13,8190	209,5	23,2	13,4540	54,4	28,9	2,5213	51,6	26,2	20,3898	68,8	25,6
10º	14,9064	100,8	24,0	4,0620	201,8	29,6	5,4291	306,7	28,6	5,3541	310,9	26,0
11º	31,6822	356,3	27,6	12,4239	81,6	36,2	4,0665	64,8	38,3	18,3035	141,0	30,7
12º	24,7662	116,2	29,8	4,8128	61,1	37,2	3,2035	168,8	42,0	2,7583	109,7	30,8
13º	33,7724	13,9	33,9	11,3388	163,5	42,7	0,5648	65,7	44,4	11,9666	304,9	32,8
14º	31,7857	358,3	37,6	9,7404	38,4	46,8	3,6809	52,4	52,9	16,5262	69,9	36,6
15º	18,7246	31,8	38,8	21,4171	166,2	66,5	4,1790	70,8	55,1	11,8680	197,0	38,6
16º	6,1029	110,9	38,9	5,9952	290,7	68,0	4,2336	333,8	58,1	18,6639	143,4	43,5
17º	16,0957	345,6	39,8	4,3671	124,1	68,8	7,5476	295,0	60,6	10,5894	223,6	45,1
18º	24,2659	197,3	41,9	7,2320	147,1	71,0	6,0014	217,8	63,5	27,0366	200,0	55,2
19º	22,3881	359,1	43,7	1,2387	39,5	71,0	6,8530	171,2	65,5	24,3941	56,2	63,5
20º	40,6133	187,0	49,7	4,8728	204,6	72,0	5,7133	154,4	66,0	27,1863	209,6	73,8
21º	11,7064	1,1	50,2	10,2456	28,6	76,5	12,1539	68,5	68,7	7,1484	108,6	74,5
22º	52,0298	281,6	60,0	4,7234	232,8	77,5	1,9424	17,8	70,9	9,5482	95,0	75,8
23º	34,6653	335,1	64,4	1,5534	83,5	77,6	4,9298	204,2	77,1	14,2616	21,2	78,6
24º	34,6853	162,2	68,7	17,4223	240,2	90,7	3,2829	303,6	79,9	12,8933	163,7	80,9
25º	55,3539	296,3	79,8	7,0971	185,8	92,9	6,0388	188,0	81,5	24,6844	292,0	89,4
26º	1,9978	318,2	79,8	7,5502	70,2	95,3	2,2186	190,0	83,0	11,3705	19,8	91,2
27º	26,4237	11,3	82,3	4,4139	223,0	96,1	3,6019	213,0	92,1	8,5607	217,1	92,2
28º	56,8967	40,0	94,1	5,1204	330,4	97,2	7,6336	33,0	97,0	7,5947	297,4	93,0

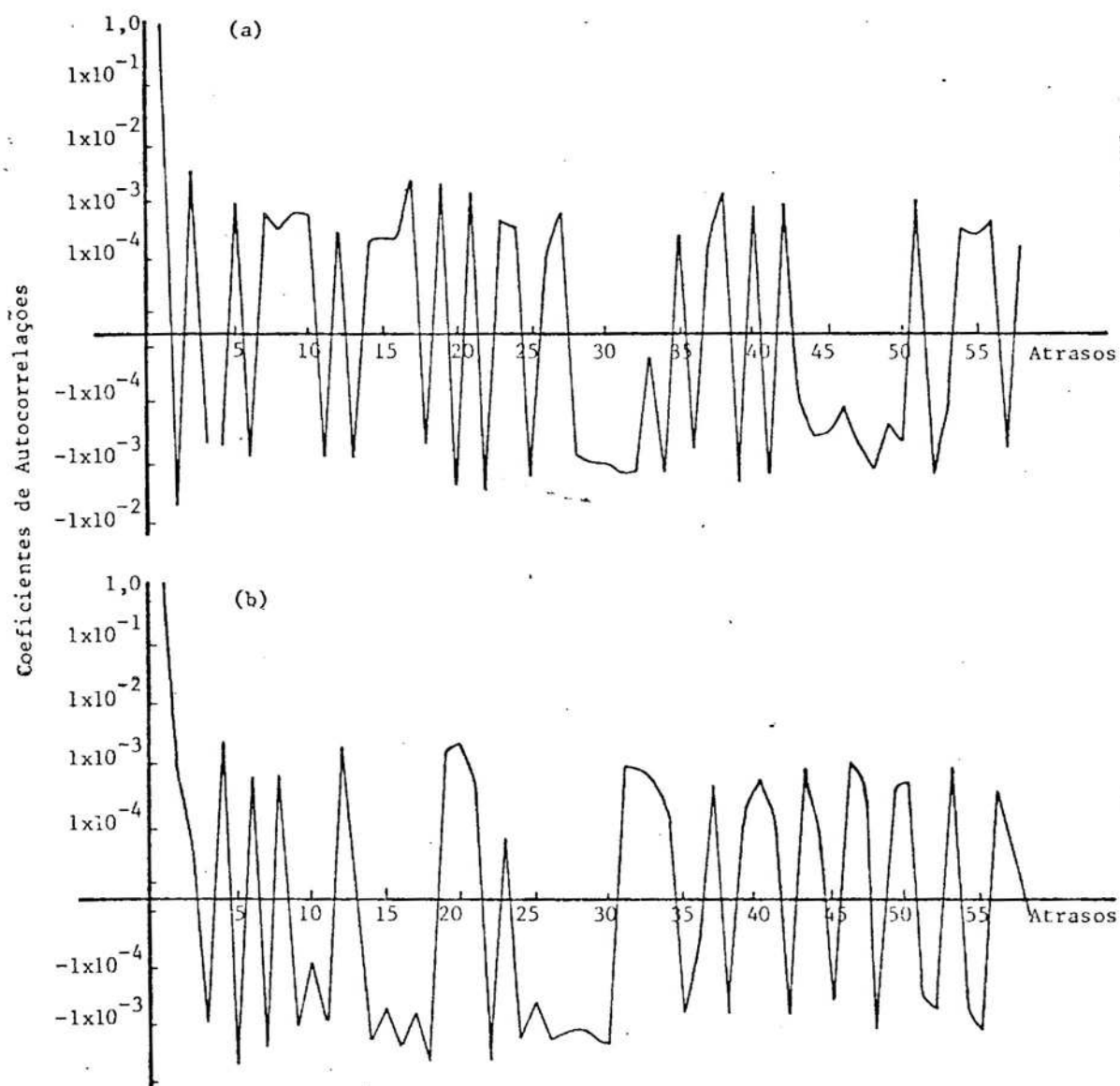


FIGURA 5 - Correlograma de Precipitação Pluvial para os Meses de Janeiro (a) e Abril (b)

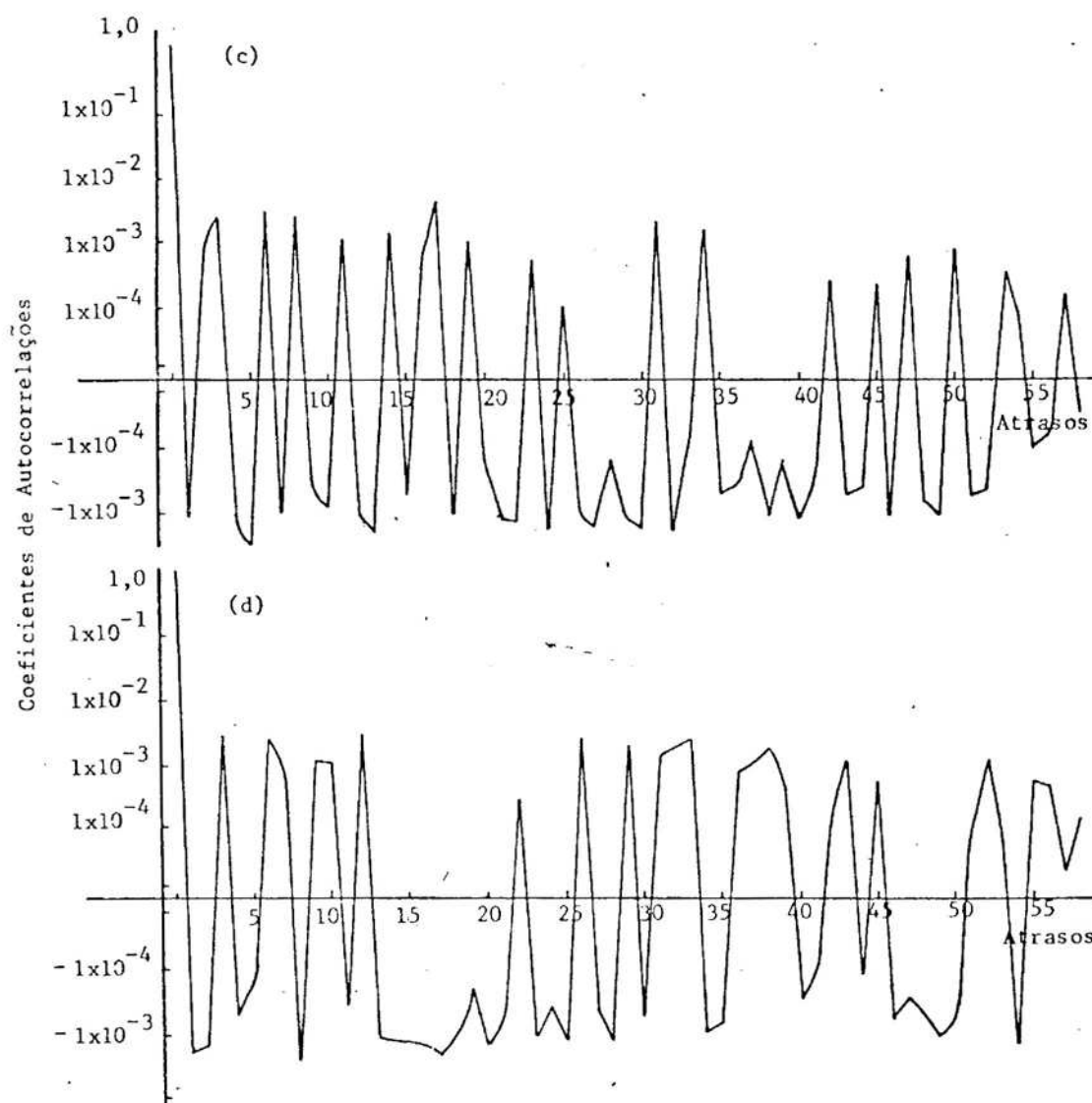


FIGURA 5 - Correlograma de Precipitação Pluvial para os Meses de Julho (c) e Outubro (d)

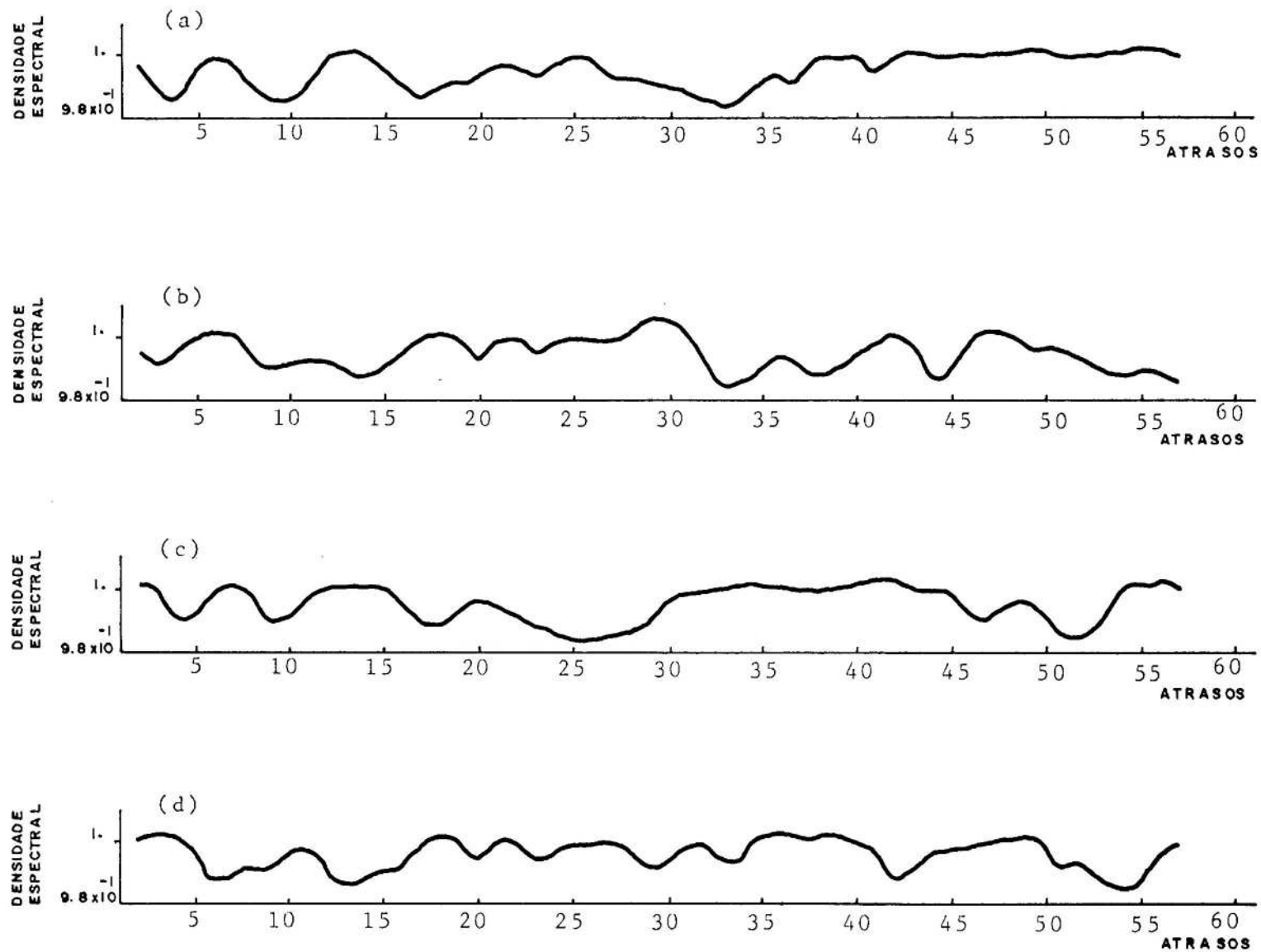


FIGURA 6 - Densidade Espectral de Precipitação Pluvial para os Meses de Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d)

QUADRO 4 - Densidade Espectral e Frequência da Precipitação Pluvial para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro

Meses	Densidade Espectral		Frequência	
	$\rho(f)_{\max}$	$\rho(f)_{\min}$	$f\rho(f)_{\min}$	$f\rho(f)_{\max}$
Janeiro	1,01	$9,85 \times 10^{-1}$	$8,62 \times 10^{-2}$	$1,03 \times 10^{-1}$
Abril	1,06	$9,85 \times 10^{-1}$	$2,84 \times 10^{-1}$	$2,50 \times 10^{-1}$
Julho	1,03	$9,84 \times 10^{-1}$	$2,16 \times 10^{-1}$	$3,53 \times 10^{-1}$
Outubro	1,03	$9,86 \times 10^{-1}$	$1,12 \times 10^{-1}$	$3,10 \times 10^{-1}$

4.3. Evapotranspiração Potencial (EP) e Evapotranspiração Real (ER)

De acordo com as Figuras 7a, 7b, 7c e 7d, observou-se que os valores obtidos para a evapotranspiração potencial por meio das médias aritméticas móveis de cinco anos continuaram com flutuações. Todavia, detectou-se um semiciclo com aumento da EP para julho e outubro, de 1940 a 1946, e para abril, 1936 a 1940, e janeiro, 1932 a 1937, quase semelhantes aos períodos de temperatura.

De um modo geral, a EP teve um comportamento quase semelhante ao da temperatura; isto era de se esperar, já que a EP é uma função da temperatura para o método de Thornthwaite e Mather.

As estimativas da ER, de acordo com as médias móveis de cinco anos, apontaram, para o mês de outubro, os maiores valores da ER, ocorrendo por volta de 1941 a 1944. Ainda para esse mês, houve um período de estabilidade, 1932 a 1934, o mesmo acontecendo para janeiro em 1943 a 1949 (Figuras 8d e 8a).

Baseando-se nos valores estimados para ER, a partir das médias móveis de onze anos, observou-se que as séries de dados para os meses de outubro a abril indicaram dois períodos

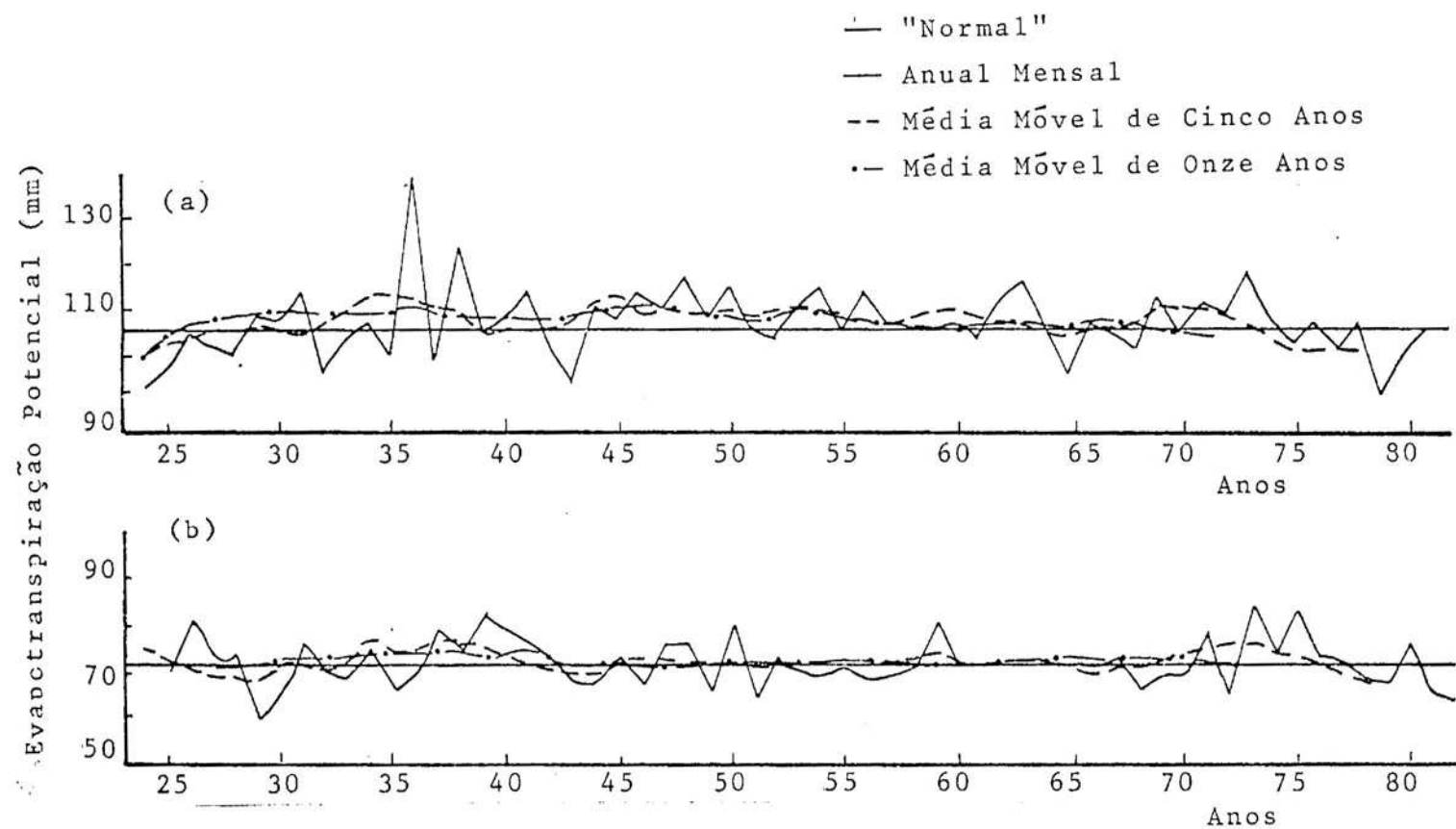


FIGURA 7 - Evapotranspiração Potencial (EP) "Normal", Anual Mensal e Médias Móveis de Cinco e Onze Anos para os Meses de Janeiro (a) e Abril (b)

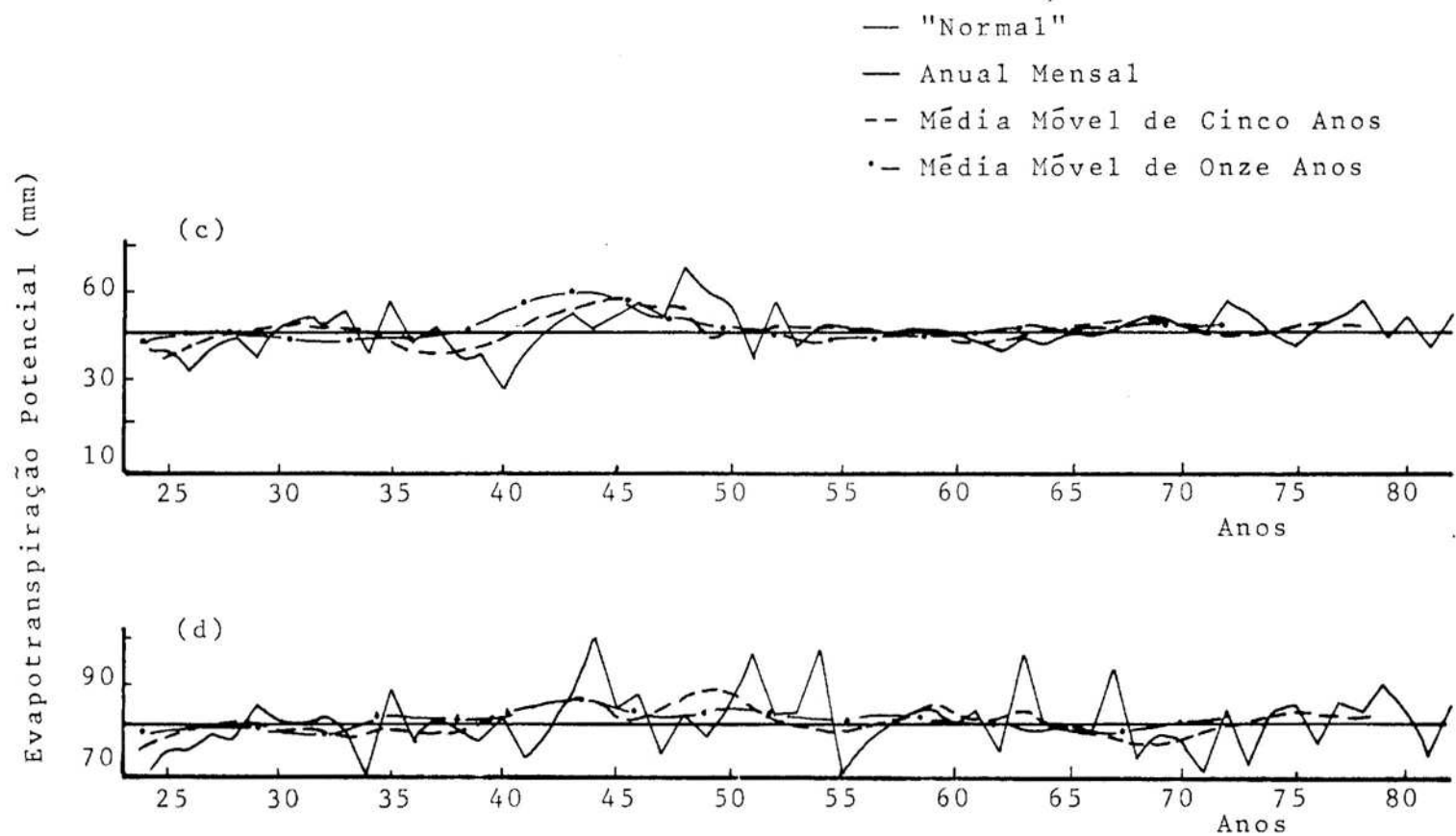


FIGURA 7 - Evapotranspiração Potencial (EP) "Normal", Anual Mensal e Médias Móveis de Cinco e Onze Anos para os Meses de Julho (c) e Outubro (d)

de estabilidade para esses dois meses em épocas diferentes: o primeiro período, para o mês de outubro, correspondente aos anos de 1931 a 1933, e o segundo de 1935 a 1937. Para o mês de abril, o primeiro período ocorreu de 1941 a 1943; o segundo de 1951 a 1958, em que esse período coincidiu com um dos períodos de estabilidade da EP para esse mês, de 1952 a 1955 (Figuras 8d, 8b e 7b). Ainda, notou-se um período de estabilidade para o mês de julho de 1948 a 1951, e para o mês de janeiro de 1957 a 1960, que coincidiu com o período de estabilidade da temperatura e EP (Figuras 8c, 8a, 2a e 7a).

Os maiores valores da ER para o mês de julho foram observados a partir de 1954 (Figura 8c).

Para os meses de inverno e primavera, nos últimos anos, os valores da EP e ER, segundo as médias móveis de onze anos, estiveram acima da "normal", havendo tendência para aumento; e para os meses de verão e outono, abaixo da "normal", com tendência para diminuição da EP e ER (Figuras 7a, 7b, 7c, 7d, 8a, 8b, 8c e 8d).

O emprego da análise harmônica, por meio da série de Fourier, no estudo das variações da série temporal correspondente a EP e ER, mostrou quais os harmônicos que obtiveram as maiores percentagens da variância acumulada para os meses estudados. Para EP, os harmônicos de ordens 25 e 7 para o mês de janeiro; para o mês de abril os de ordens 5 e 25; para julho os de ordens 5 e 4 e para o mês de outubro os de ordens 19 e 8 (Quadro 5). E os harmônicos determinados para ER foram os de ordens 11 e 12 para o mês de janeiro, os de ordens 15 e 11 para o mês de abril, os de ordens 15 e 18 para o mês de julho, e para o mês de outubro os de ordens 19 e 20 (Quadro 6).

Recorrendo-se à função de autocorrelação para identificar as relações existentes na série temporal em períodos diferentes (13), explícita por meio dos correlogramas (Figuras 2a, 2b, 2c, 2d e 10), verificou-se que as observações da EP e ER são independentes, isto é, não são significativamente correlacionadas, portanto, as observações sucessivas são linearmente independentes. Esse comportamento da série temporal identificou-se também como um processo estocástico.

Segundo as estimativas para a densidade espectral das séries temporais de EP e ER, observou-se que, para todas as

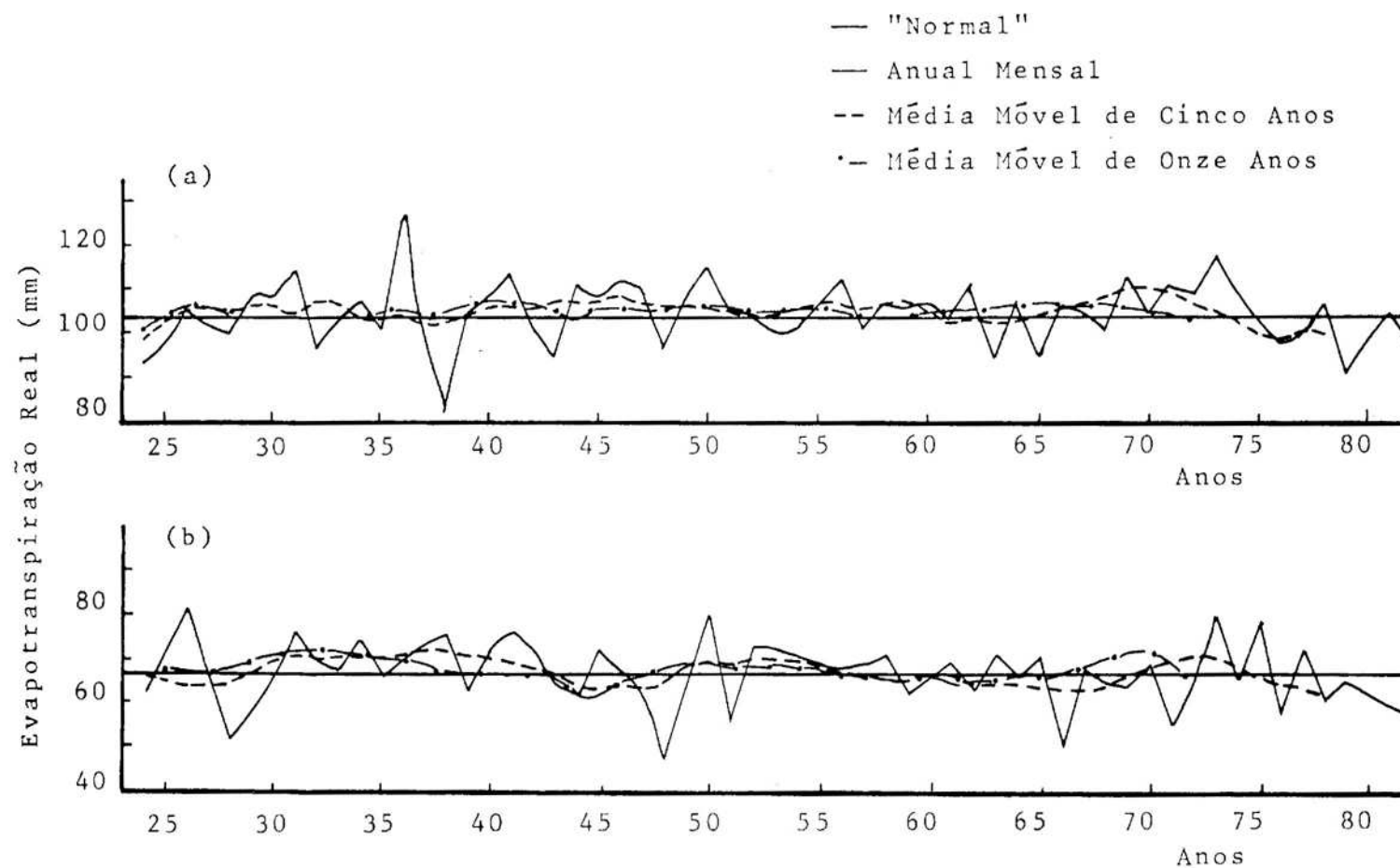


FIGURA 8 - Evapotranspiração Real (ER) "Normal", Anual Mensal e Médias Móveis de Cinco e Onze Anos para os Meses de Janeiro (a) e Abril (b)

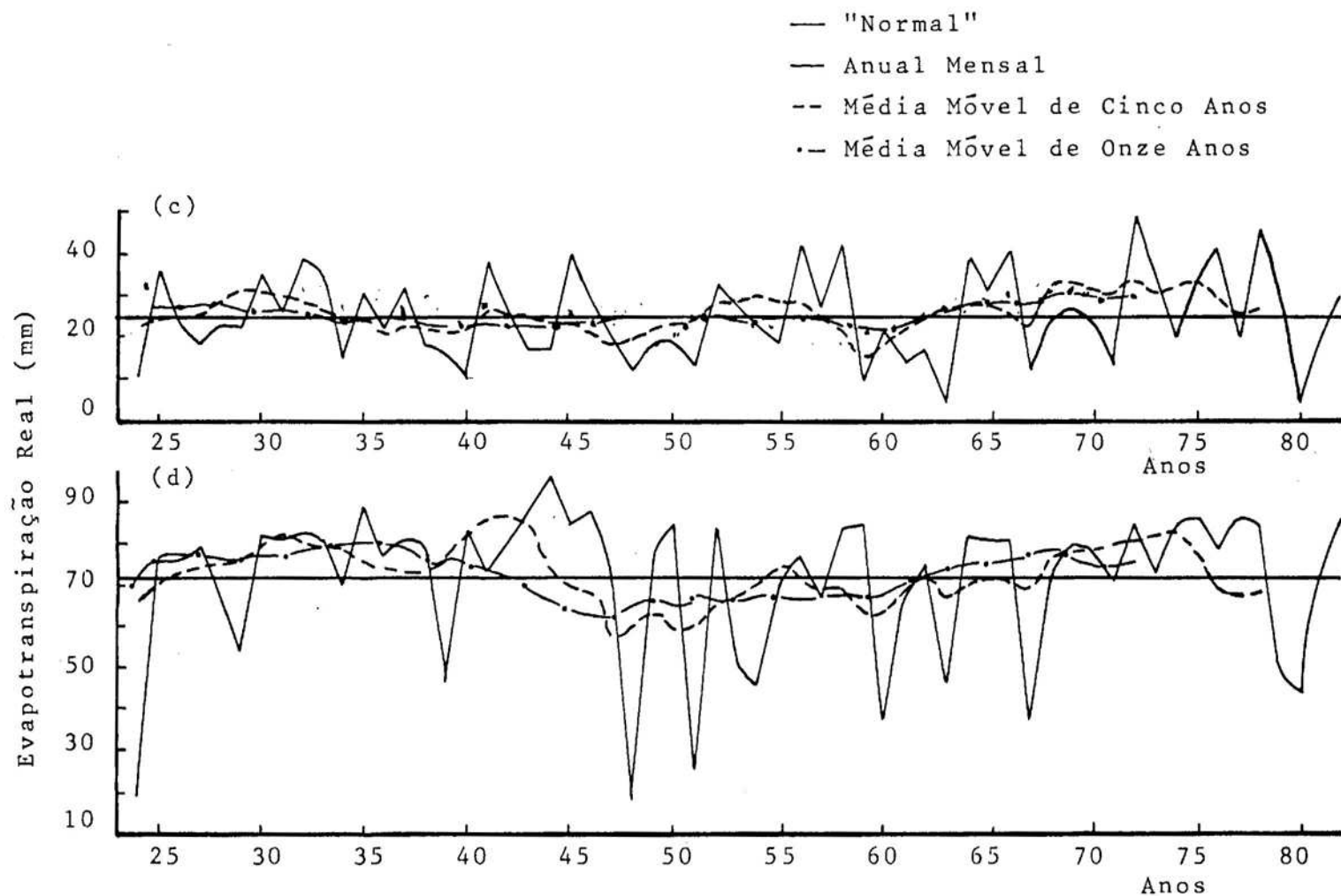


FIGURA 8 - Evapotranspiração Real (ER) "Normal", Anual Mensal e Médias Móveis de Cinco e Onze Anos para os Meses de Julho (c) e Outubro (d)

QUADRO 5 - Amplitude (mm), Fase (Graus) da Série de Fourier Ajustada aos Dados de Evapotranspiração Potencial para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, Período de 1924 a 1982, para Viçosa, MG, e a Percentagem da Variância Acumulada (%)

Harmônico	Janeiro			Abril			Julho			Outubro		
	Amplitude	Fase	%	Amplitude	Fase	%	Amplitude	Fase	%	Amplitude	Fase	%
1º	3,5598	159,5	10,3	0,2405	233,3	0,1	1,3585	192,3	3,7	2,3084	177,8	1,9
2º	2,1794	181,8	14,2	1,4987	218,2	4,0	2,1213	282,1	12,8	1,5358	293,3	8,8
3º	2,9662	176,2	21,3	1,5968	254,7	8,5	2,0730	118,4	21,5	0,5581	359,8	9,5
4º	0,5754	174,1	21,6	0,5488	78,5	9,0	2,1838	216,3	31,2	2,4843	224,1	17,1
5º	2,4157	46,3	26,3	2,9041	77,7	23,8	2,7270	292,7	46,3	2,4270	188,3	18,3
6º	1,2319	122,6	27,5	0,7163	108,2	24,7	0,7083	211,2	47,3	0,3966	303,6	21,3
7º	3,1180	229,5	35,4	1,3256	342,9	27,7	0,4565	222,0	47,7	1,8598	145,2	22,2
8º	0,3014	353,8	35,4	1,1228	31,4	29,9	0,9123	167,4	49,4	2,5744	261,4	23,7
9º	1,4227	290,3	37,0	2,1598	130,8	38,1	0,5666	330,4	50,1	0,9397	57,9	28,3
10º	0,3296	10,3	37,0	0,5017	136,7	38,5	2,0240	39,2	58,4	0,8298	152,8	29,1
11º	1,5973	62,8	39,0	1,7424	166,5	43,8	0,2952	188,7	58,6	0,4725	144,7	29,7
12º	0,4854	128,0	39,2	0,9653	129,2	45,4	1,4960	297,6	63,1	1,5581	12,1	32,0
13º	2,8867	212,6	46,0	0,7706	173,9	46,4	1,2069	256,8	66,1	1,4767	181,7	35,9
14º	0,2597	244,7	46,0	0,4991	65,5	46,8	1,0094	230,4	68,1	0,6940	4,6	38,1
15º	1,2295	178,1	47,2	0,6210	99,6	47,4	0,3303	126,9	68,3	2,0015	107,1	46,0
16º	1,9660	177,6	50,3	0,2482	255,5	47,5	0,6196	335,4	69,1	0,4953	52,3	46,3
17º	0,9345	117,0	51,0	0,8083	6,8	48,6	1,3221	33,0	72,6	1,5200	203,2	46,7
18º	0,8665	328,0	51,6	1,6419	19,3	53,3	0,6362	224,5	73,4	1,0856	31,9	54,4
19º	2,0790	204,1	55,1	1,0813	58,7	55,3	0,6159	310,1	74,2	3,0285	230,9	66,7
20º	1,4246	12,8	56,7	0,6023	314,8	55,9	0,3616	114,2	74,4	0,8481	101,6	74,7
21º	2,1624	82,3	60,5	1,6972	145,5	60,9	0,6272	27,3	75,2	1,5516	296,1	78,0
22º	1,6780	161,5	62,8	1,5667	275,7	65,2	0,6444	112,0	76,0	2,1758	254,2	79,7
23º	2,1929	217,6	66,7	1,5577	346,8	69,4	0,2770	128,6	76,1	2,4551	201,9	80,2
24º	3,2379	328,8	75,2	0,6947	285,1	70,2	1,0392	209,3	78,3	1,0546	31,8	87,0
25º	3,3724	4,5	84,4	2,3857	309,5	80,2	0,8355	258,3	79,7	2,9013	177,8	92,8
26º	0,8136	64,2	84,9	1,8985	211,4	86,5	1,0913	217,4	82,1	1,1860	30,4	94,6
27º	2,1020	172,5	88,5	0,8127	272,2	87,7	1,7862	304,0	88,8	1,5497	339,7	94,8
28º	2,0188	191,5	91,8	1,6233	88,5	92,3	1,5172	119,3	93,4	3,0410	153,7	95,1

QUADRO 6 - Amplitude (mm), Fase (Graus) da Série de Fourier Ajustada aos Dados de Evapotranspiração Real para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, Período de 1924 a 1982, para Viçosa, MG, e a Percentagem da Variância Acumulada (%)

Harmônico	Janeiro			Abril			Julho			Outubro		
	Amplitude	Fase	%	Amplitude	Fase	%	Amplitude	Fase	%	Amplitude	Fase	%
1º	1,6373	184,7	2,5	1,4038	116,7	1,9	2,3902	327,9	2,5	3,5626	39,2	1,9
2º	1,4774	194,6	4,5	1,1986	162,3	3,3	0,6227	233,8	2,6	6,7563	191,5	8,8
3º	2,6406	139,3	11,0	3,0690	222,5	12,2	3,1776	185,8	7,0	2,1886	210,5	9,5
4º	2,4653	134,0	16,7	1,0506	76,0	13,2	1,9561	138,6	8,7	7,0887	136,7	17,1
5º	1,2796	345,7	18,2	1,6206	116,6	15,6	3,7224	222,6	14,8	2,8674	245,3	18,3
6º	0,8198	258,7	18,8	2,4247	10,2	21,1	3,2761	63,3	19,5	4,4602	56,2	21,3
7º	0,3161	226,3	18,9	1,4235	35,9	23,0	1,7530	332,5	20,9	2,3730	76,9	22,2
8º	1,3902	201,9	20,7	1,3257	30,9	24,7	1,1098	205,1	21,4	3,1283	199,6	23,7
9º	1,2856	236,3	22,2	1,3660	74,4	26,5	3,9924	70,7	28,4	5,5345	26,8	28,3
10º	0,5710	290,2	22,5	2,0407	143,8	30,4	1,9778	354,8	30,1	2,2753	236,9	29,1
11º	3,4446	20,9	33,6	3,0994	98,9	39,5	2,3426	57,2	32,5	1,9813	211,4	29,7
12º	3,2856	131,6	43,7	2,4070	106,8	45,0	1,8952	195,2	34,1	3,9016	168,6	32,0
13º	2,9487	234,1	51,8	1,8175	251,3	48,1	2,3354	309,9	36,5	5,0571	249,2	35,9
14º	1,4627	269,8	53,8	0,6222	71,3	48,4	1,9995	318,6	38,3	3,8131	263,8	38,1
15º	0,7779	176,9	54,3	3,6196	170,0	60,7	4,6499	127,8	47,9	7,2201	195,3	46,0
16º	2,4199	148,2	59,8	1,6140	283,4	63,1	1,8918	323,0	49,5	1,3723	193,6	46,3
17º	1,6294	178,2	62,2	0,9737	168,6	64,0	1,6833	302,4	50,7	1,6053	224,4	46,7
18º	1,5589	269,6	64,4	1,0797	354,8	65,1	4,3492	212,0	59,1	7,1370	216,7	54,4
19º	1,1898	57,6	65,7	0,9981	68,4	66,0	3,4303	198,0	64,3	8,9977	90,1	66,7
20º	0,3118	60,6	65,8	2,3008	222,2	71,0	2,7945	176,2	67,7	7,2853	215,6	74,7
21º	2,9232	94,9	73,8	0,9047	62,0	71,8	3,6051	79,0	73,4	4,6700	42,8	78,0
22º	1,8585	216,0	77,0	0,7913	263,6	72,3	0,8653	113,3	73,7	3,3133	164,8	79,7
23º	2,6365	279,2	83,5	2,7144	339,9	79,3	2,2201	119,8	75,9	1,7735	171,6	80,2
24º	2,1611	21,6	87,9	2,6413	231,1	85,9	1,3948	151,7	76,8	6,7056	151,0	87,0
25º	1,8578	6,0	91,1	0,6874	230,1	86,3	1,6223	205,8	77,9	6,1824	262,0	92,8
26º	1,2422	262,3	92,5	2,5175	86,8	92,3	1,2170	231,4	78,5	3,4718	145,3	94,6
27º	1,7805	165,0	95,5	0,4681	206,0	92,5	1,7654	239,8	79,9	1,1672	135,3	94,8
28º	1,1231	59,4	96,7	1,4206	98,6	94,4	3,6825	12,0	85,9	1,5198	234,4	95,1

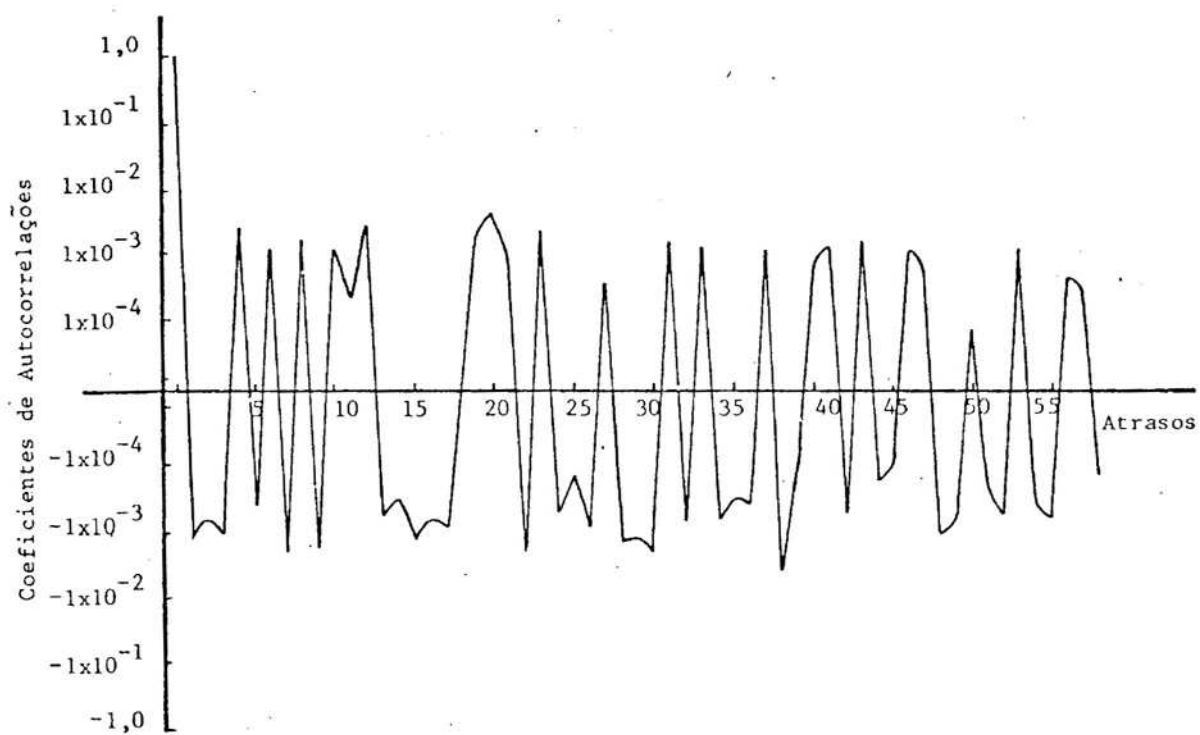


FIGURA 9 - Correlograma da Evapotranspiração Real (ER) para o Mês de Julho

faixas de frequência, a distribuição de variância do espectro são iguais, isto é, não há concentrações de variâncias do espectro para uma determinada frequência e, por isso, é chamada de ruído branco (6). Todavia, quando se analisa o comportamento da densidade espectral (Figuras 10a, 10b, 10c, 10d, 11a, 11b, 11c e 11d), verificam-se também indícios aparentes de concentrações de variância do espectro para certas faixas de frequências (Quadros 7 e 8).

QUADRO 7 - Densidade Espectral e Frequências de EP para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro

Meses	Densidade Espectral		Frequência	
	$\rho(f)_{\max}$	$\rho(f)_{\min}$	$f_{\rho(f)\min}$	$f_{\rho(f)\max}$
Janeiro	1,01	$9,84 \times 10^{-1}$	$2,41 \times 10^{-1}$	$1,12 \times 10^{-1}$
Abril	1,03	$8,85 \times 10^{-1}$	$2,67 \times 10^{-1}$	$7,76 \times 10^{-2}$
Julho	1,04	$9,84 \times 10^{-1}$	$3,45 \times 10^{-1}$	$7,75 \times 10^{-2}$
Outubro	1,02	$9,85 \times 10^{-1}$	$3,79 \times 10^{-1}$	$1,64 \times 10^{-1}$

QUADRO 8 - Densidade Espectral e Frequências da ER para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro

Meses	Densidade Espectral		Frequência	
	$\rho(f)_{\max}$	$\rho(f)_{\min}$	$f_{\rho(f)\min}$	$f_{\rho(f)\max}$
Janeiro	1,04	9,83	$3,36 \times 10^{-1}$	$2,07 \times 10^{-1}$
Abril	1,03	9,87	$2,84 \times 10^{-1}$	$2,58 \times 10^{-1}$
Julho	1,02	9,86	$3,79 \times 10^{-1}$	$2,50 \times 10^{-1}$
Outubro	1,03	9,84	$2,76 \times 10^{-1}$	$3,28 \times 10^{-1}$

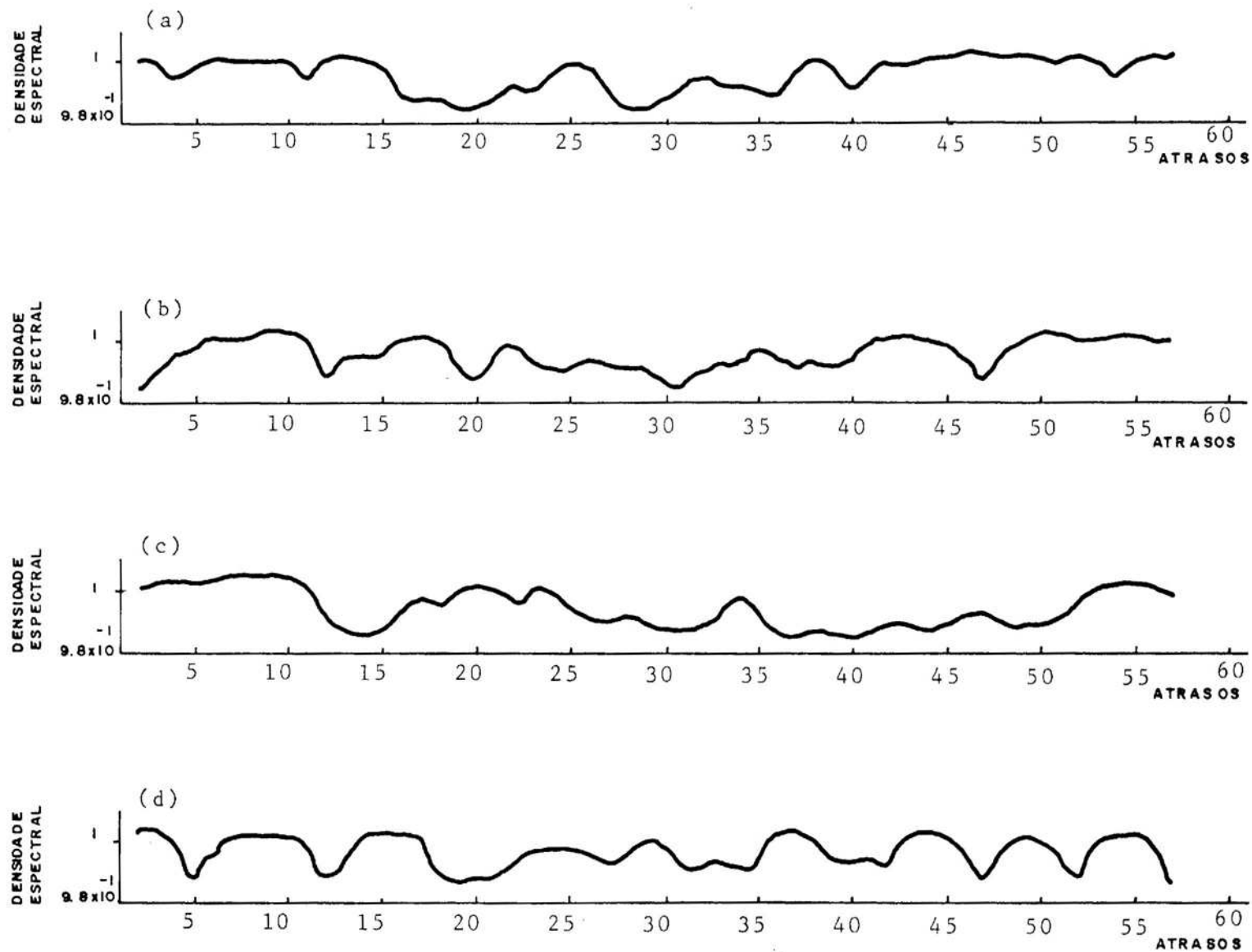


FIGURA 10 - Densidade Espectral da Evapotranspiração Potencial (EP) para os Meses de Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d)

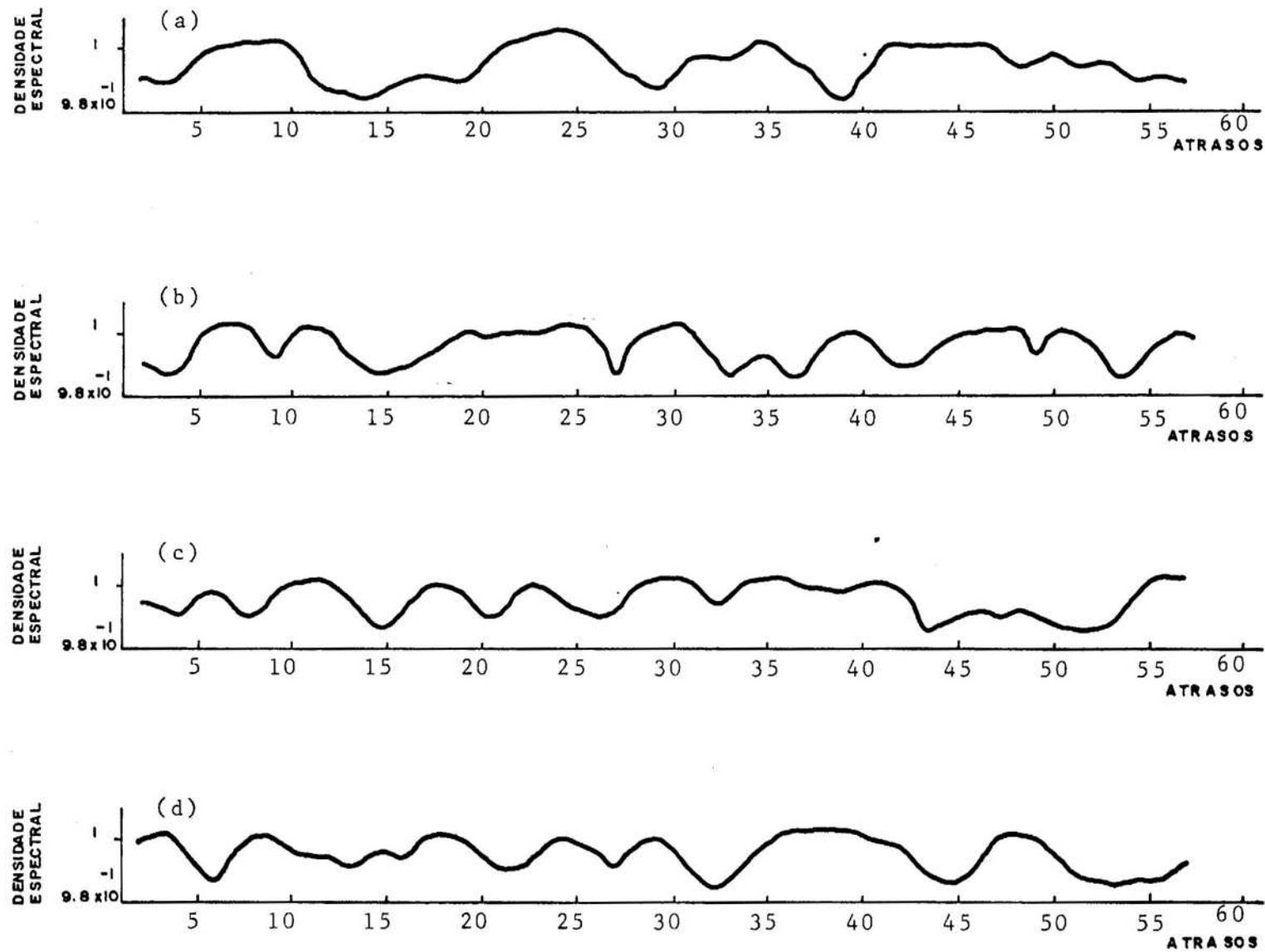


FIGURA 11 - Densidade Espectral da Evapotranspiração Real (ER), para os Meses de Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d)

4.4. Deficiência Hídrica e Excesso Hídrico

Em Viçosa, MG, o período mais chuvoso compreende os meses de verão e o período seco corresponde aos meses de inverno. Assim, notou-se que a técnica das médias móveis, tanto de cinco e onze anos, quando empregadas para os valores estimados de excesso e deficiência hídrica para os meses de janeiro e julho, respectivamente, apresentaram apenas pequenas variações.

De acordo com as médias móveis de onze anos, verificou-se que o período de estabilidade da deficiência hídrica para o mês de janeiro, correspondentes aos anos 1955 a 1957 esteve acima da "normal" e, nos anos de 1959 a 1964, abaixo da "normal". Coincidiu com o período de estabilidade de 1957 a 1960, que foi também registrado para os dados de temperatura, de EP e de ER (Figuras 1a, 7c e 8a). Para os meses de abril e outubro houve mais que um período de estabilidade; dentre esses, houve um, cujo período foi comum aos meses de abril, julho e outubro, que foi o observado em meados de 1925 a 1929. Para o mês de abril esse período de estabilidade esteve acima da "normal" e para os demais, abaixo da "normal" (Figuras 12a, 12b, 12c e 12d).

Os períodos de maiores deficiências hídricas para os meses de julho e outubro foram de 1938 a 1949 e 1958 a 1961; e de 1941 a 1960 respectivamente (Figuras 12c e 12d).

Os maiores valores estimados para o excesso hídrico, segundo as médias móveis de cinco e onze anos, foram obtidos para o período de 1924 a 1943, acima da "normal", e a partir de 1945 as estimativas para as médias móveis de onze anos estiveram abaixo da "normal" (Figuras 13a, 13b, 13c e 13d).

Baseando-se nos valores estimados para o excesso hídrico, de acordo com as médias móveis de cinco e onze anos, verificou-se o seguinte comportamento: os maiores valores estimados para o excesso hídrico, para o mês de janeiro, segundo as médias móveis de cinco e onze anos ocorreram no período de 1924 a 1943 acima da "normal"; e, a partir de 1945, as estimativas para as médias de onze anos estiveram abaixo da "normal" (Figura 13a).

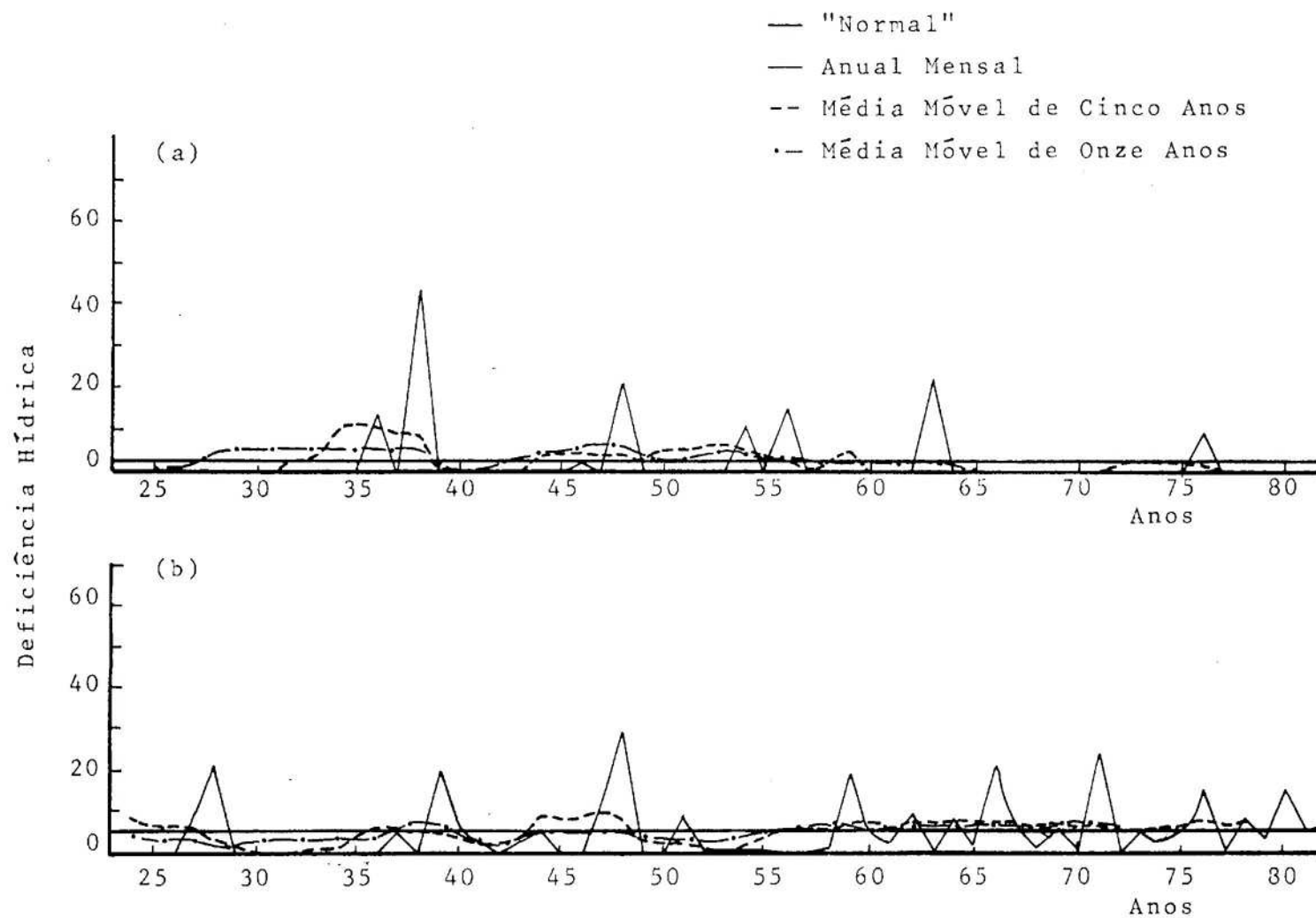


FIGURA 12 - Deficiência Hídrica "Normal", Anual Mensal e Médias Móveis de Cinco e Onze Anos para os Meses de Janeiro (a) e Abril (b)

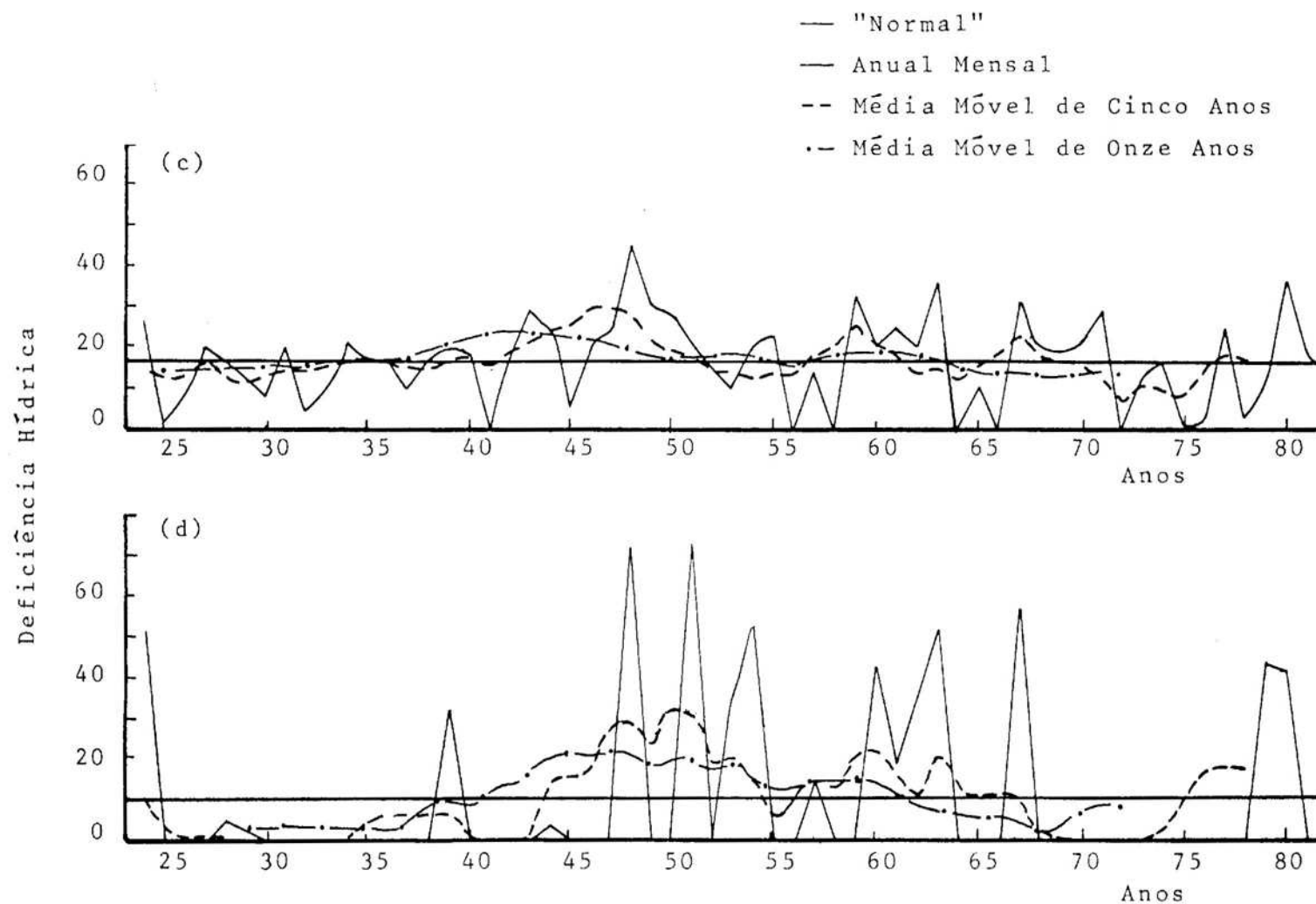


FIGURA 12 - Deficiência Hídrica "Normal", Anual Mensal e Médias Móveis de Cinco e Onze Anos para os Meses de Julho (c) e Outubro (d)

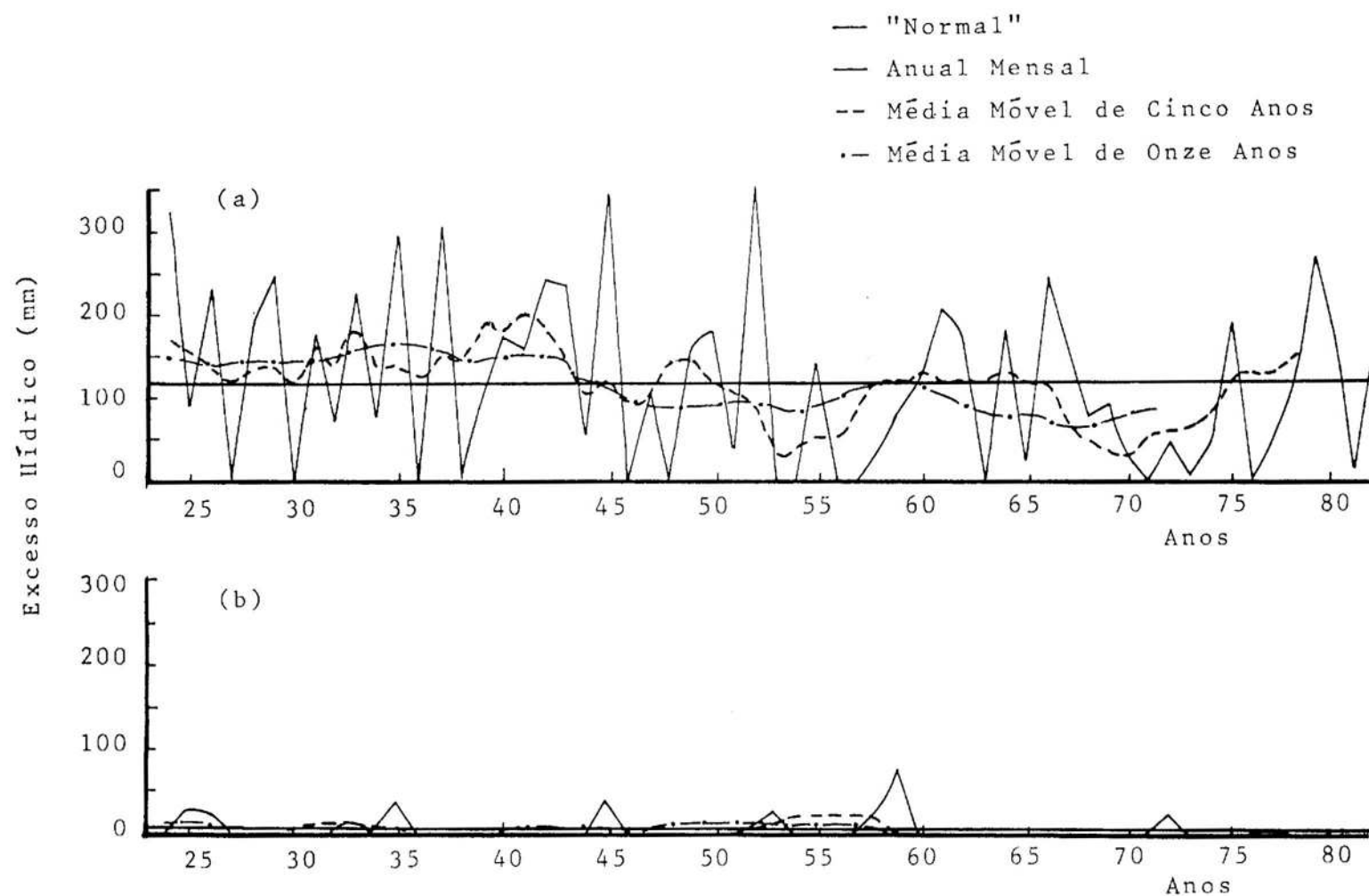


FIGURA 13 - Excesso Hídrico "Normal", Anual Mensal e Médias Móveis de Cinco e Onze Anos para os Meses de Janeiro (a) e Abril (b)

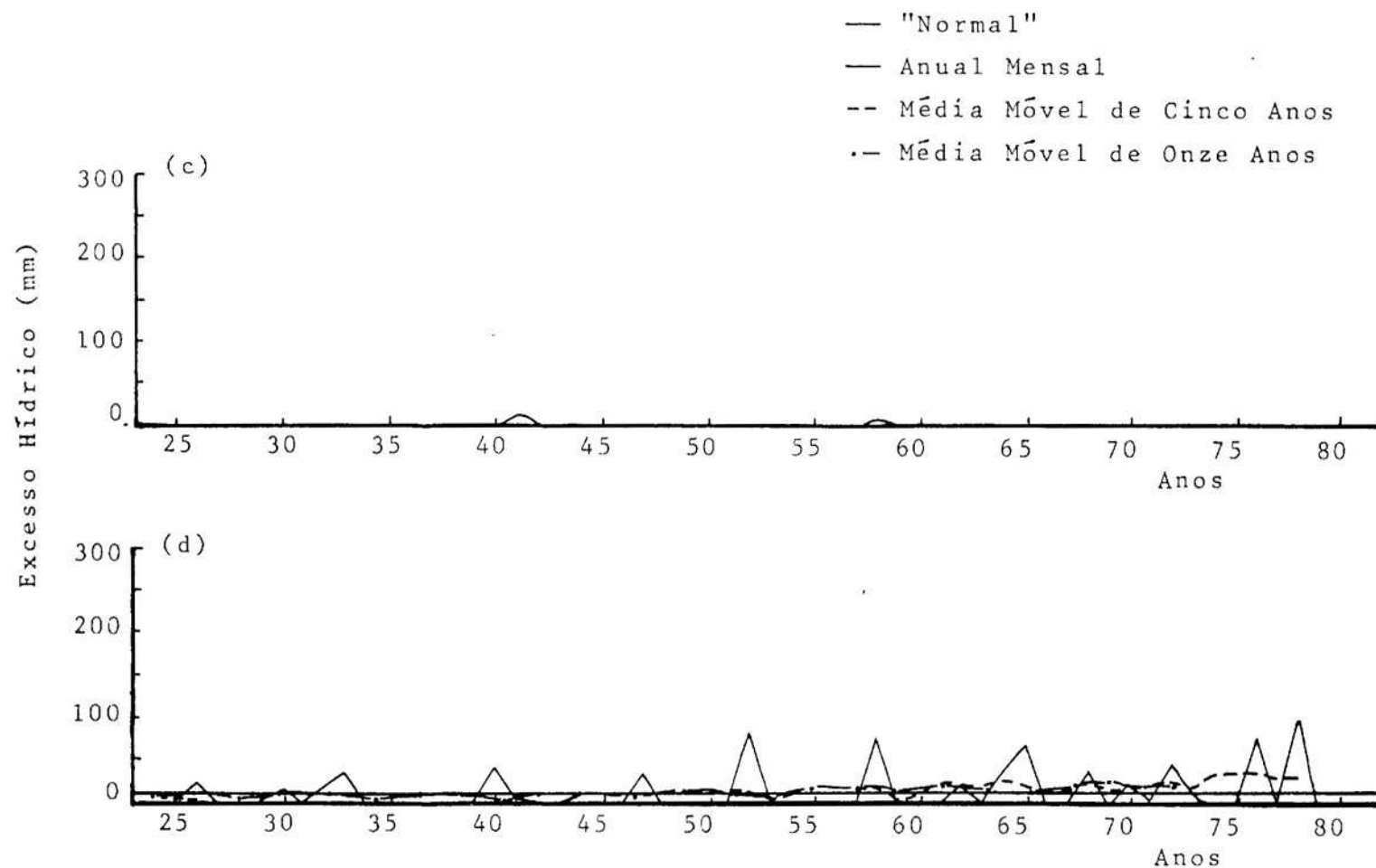


FIGURA 13 - Excesso Hídrico "Normal", Anual Mensal e Médias Móveis de Cinco e Onze Anos para os Meses de Julho (c) e Outubro (d)

Levando-se em consideração os valores das médias móveis de cinco anos, houve um período de estabilidade para os meses de abril, julho e outubro, de 1953 a 1958 (Figuras 13b, 13c e 13d).

Os valores obtidos a partir das médias móveis de onze anos indicaram mais períodos de estabilidade para os meses de abril e outubro. Dentre esses períodos, destacou-se o de 1948 a 1952, que é comum para esses dois meses (Figuras 13b e 13d).

Ainda, baseando-se nos valores das médias móveis de onze anos, determinou-se um período de estabilidade para os meses de janeiro, abril, julho e outubro de 1924 a 1941, sendo que houve variações na duração desse período para os meses mencionados (Figuras 13a, 13b, 13c e 13d).

Observou-se que a deficiência hídrica para os meses de janeiro e julho apresentou tendência para decréscimo; enquanto que o excesso para janeiro indicou tendência para aumento, e, de acordo com os valores de precipitação e de temperatura, a deficiência hídrica para o mês de julho continuará diminuindo.

As estimativas para a deficiência hídrica nos meses de abril e outubro mostraram uma tendência para aumento; enquanto isso, como está claro, o excesso hídrico apresenta tendência a diminuir.

O estudo das variações das séries temporais, da deficiência hídrica e excesso hídrico, segundo a análise harmônica, por meio da série de Fourier, indicou quais os harmônicos que possuíam as maiores amplitudes e percentagens de variância acumulada.

Para a deficiência hídrica, os harmônicos que tiveram as maiores amplitudes e percentagens de variância acumulada para os meses de janeiro e abril foram: 19 e 7; 15 e 11, respectivamente. Para o mês de julho, os de ordens 15 e 9 e para o mês de outubro, os de ordens 19 e 18 (Quadro 9).

Os harmônicos identificados com as maiores amplitudes e percentagens de variância acumulada para o excesso hídrico para o mês de janeiro foram os de ordens 25, 22, 3 e 4; os de ordens 13 e 9 para abril; para os meses de julho e outubro os de ordens 24 e 4; e 3, 16 e 6, respectivamente (Quadro 10).

QUADRO 9 - Amplitude (mm), Fase (Graus) da Série de Fourier Ajustada aos Dados de Deficiência Hídrica para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, Período de 1924 a 1982, para Viçosa, MG, e a Percentagem da Variância Acumulada (%)

Harmônico	Janeiro			Abril			Julho			Outubro		
	Amplitude	Fase	%	Amplitude	Fase	%	Amplitude	Fase	%	Amplitude	Fase	%
1º	2,1914	141,0	4,5	1,5268	288,6	2,3	3,4933	163,7	5,4	6,4872	204,2	5,2
2º	0,8087	157,8	5,1	1,2923	268,4	3,9	1,7687	297,3	6,8	6,8155	352,2	10,7
3º	1,7994	237,9	8,1	1,9167	16,2	7,5	3,0533	44,6	10,9	2,4731	2,9	11,5
4º	2,0588	303,6	12,1	0,5029	253,2	7,7	2,6015	263,6	13,9	8,3833	297,7	20,2
5º	2,1076	78,2	14,3	1,9318	45,9	11,4	3,7942	0,0	20,3	1,8317	100,4	20,2
6º	1,9086	105,3	17,7	2,6223	174,5	18,2	3,8947	237,7	27,1	4,1857	252,2	22,2
7º	2,8025	229,9	25,1	1,2295	275,3	19,7	1,9605	165,1	28,8	1,4314	209,6	22,4
8º	1,6621	17,0	27,7	0,2033	207,8	19,7	0,6805	80,2	29,0	3,0508	348,5	23,5
9º	1,2350	347,7	29,1	1,8045	169,8	22,9	4,1317	258,5	36,6	4,5762	189,0	26,1
10º	0,6085	77,9	29,5	1,5441	326,1	25,2	1,5122	105,4	37,6	3,0897	91,1	27,3
11º	2,4965	175,6	35,4	2,9213	245,4	33,6	2,5475	232,2	40,9	1,7596	76,5	27,7
12º	2,8012	312,2	42,8	1,5592	273,1	36,0	2,6523	341,9	44,0	4,4042	352,8	30,1
13º	1,0907	130,1	43,9	1,8118	95,8	39,2	1,8769	160,8	45,6	4,1242	96,5	32,2
14º	1,2324	94,9	45,3	0,1353	273,1	39,2	2,2101	165,8	47,8	3,0286	76,3	33,3
15º	0,4520	60,0	45,5	4,0385	343,1	55,2	4,3195	307,8	56,1	8,6608	357,9	42,6
16º	1,1955	102,9	46,8	1,3993	108,0	57,1	1,2934	137,1	56,8	1,5705	355,4	42,9
17º	1,4355	33,0	48,8	1,7598	356,8	60,1	2,1498	84,5	58,9	0,6853	14,3	43,0
18º	1,3257	56,0	50,5	0,7971	53,5	60,7	3,7303	29,9	65,1	9,1062	33,3	53,3
19º	3,1417	216,2	59,8	0,1925	359,1	60,7	3,7073	9,1	71,3	10,7811	263,9	67,7
20º	1,2371	2,0	61,2	2,4050	27,6	66,4	2,6433	3,0	74,4	8,5452	44,6	76,7
21º	0,9379	304,9	62,0	1,8326	174,9	69,7	3,2544	267,8	79,1	4,6406	231,0	79,4
22º	1,6330	93,1	64,5	0,8095	287,3	70,3	0,2216	297,2	79,1	4,7282	355,7	82,2
23º	2,4983	149,7	70,4	1,1824	150,9	71,7	1,9465	298,8	80,8	1,6960	210,7	82,6
24º	2,5951	287,0	76,8	2,3029	37,0	76,9	1,2139	285,4	81,5	5,3214	316,6	86,1
25º	1,5159	2,8	79,0	2,3532	326,3	82,3	1,2973	355,0	82,2	6,2118	116,3	90,9
26º	2,0315	75,1	82,9	3,9185	243,4	97,4	0,3082	110,5	82,2	4,2764	327,3	93,2
27º	0,4094	207,1	83,1	0,7563	306,7	98,0	1,8840	1,4	83,8	3,4189	317,5	93,6
28º	2,8952	208,3	91,0	0,3300	41,2	98,1	4,3742	172,8	92,3	2,1993	121,8	94,1

QUADRO 10 - Amplitude (mm), Fase (Graus) da Série de Fourier Ajustada aos Dados do Excesso Hídrico para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, Período de 1924 a 1982, para Viçosa, MG, e a Percentagem da Variância Acumulada (%)

Harmônico	Janeiro			Abril			Julho			Outubro		
	Amplitude	Fase	%	Amplitude	Fase	%	Amplitude	Fase	%	Amplitude	Fase	%
1º	37,1170	66,9	6,3	2,1001	162,8	1,1	0,5043	150,3	3,7	1,5440	266,8	4,7
2º	4,8188	95,7	6,4	4,0798	35,9	5,2	0,1315	145,0	3,9	1,0498	238,4	5,3
3º	35,3507	358,0	12,2	2,7767	240,8	7,1	0,6540	282,5	10,1	2,7438	222,8	6,5
4º	21,5555	284,4	14,3	4,0996	87,9	11,2	0,7094	72,0	17,4	1,9470	239,4	8,4
5º	12,9908	173,0	15,1	5,1754	326,3	17,9	0,2773	211,4	18,5	0,6410	171,7	11,1
6º	19,7695	311,2	16,9	4,0108	68,1	21,9	0,3524	215,6	20,3	2,3221	159,5	11,7
7º	33,8339	84,8	22,2	3,7133	61,5	25,3	0,6765	356,9	26,9	2,1253	55,3	12,9
8º	18,4182	260,8	23,7	2,7260	192,8	27,1	0,5234	138,6	30,9	0,3704	110,2	14,7
9º	10,3500	217,6	24,2	6,2789	82,7	36,9	0,1769	213,8	31,3	2,1421	87,9	27,7
10º	12,2617	95,2	24,9	3,1828	279,6	39,4	0,4914	293,7	34,8	2,2661	300,5	33,1
11º	21,1952	7,2	27,0	4,6716	72,1	44,8	0,5663	68,9	39,4	0,3578	85,4	34,6
12º	12,9446	100,1	27,8	2,4051	352,3	46,2	0,3241	183,6	40,9	2,1179	282,2	37,2
13º	28,4990	21,5	31,5	6,7894	163,7	57,6	0,3710	251,3	42,9	2,3859	258,2	37,3
14º	30,7900	11,5	35,9	2,5872	11,6	59,3	0,5124	12,3	46,7	0,9307	244,2	38,6
15º	22,6055	29,9	38,2	4,5844	52,8	64,5	0,3666	129,9	48,6	1,8678	74,9	39,8
16º	11,5376	106,6	38,8	2,1344	43,2	65,6	0,3604	76,6	50,5	2,3339	92,5	41,3
17º	19,2839	1,2	40,5	0,5010	329,6	65,7	0,5383	321,3	54,7	1,3466	266,6	48,6
18º	22,5051	203,2	42,8	4,9780	144,2	71,8	0,4096	89,5	57,1	1,3446	194,6	55,8
19º	13,9545	336,9	43,7	1,9468	248,9	72,7	0,2516	152,2	58,0	2,1553	29,6	57,1
20º	33,0255	181,4	48,7	1,5230	180,6	73,3	0,5678	257,4	62,7	1,3335	200,0	61,4
21º	13,8702	320,3	49,6	2,7781	44,9	75,2	0,5913	37,0	67,8	0,9824	75,8	62,9
22º	44,1756	282,7	58,6	3,3268	268,0	77,9	0,2101	159,1	68,4	1,9760	116,4	65,7
23º	26,5938	337,4	61,8	4,0947	107,2	82,0	0,4252	184,5	71,0	1,2335	20,5	72,1
24º	34,0182	170,4	67,1	5,2004	228,2	88,7	0,7211	326,4	78,5	1,1187	259,9	72,5
25º	53,5483	301,0	80,3	2,3017	163,0	90,0	0,5145	113,8	82,3	1,8803	311,5	75,0
26º	3,4116	342,7	80,4	2,8641	356,2	92,0	0,0987	128,4	82,4	1,3753	1,5	80,5
27º	23,6935	11,6	83,0	1,0548	193,6	92,3	0,6356	248,9	88,3	1,4772	267,6	86,3
28º	50,5060	40,6	94,7	3,4310	25,2	95,2	0,7471	39,2	96,4	1,7843	261,2	87,2

Os correlogramas, representação gráfica da função de autocorrelação, mostraram que os dados das séries temporais dos meses de janeiro, abril, julho e outubro não estão significativamente relacionadas entre si. Isso quer dizer que as observações sucessivas são linearmente independentes e o comportamento das séries temporais leva a considerá-las como um processo estocástico (Figura 14).

Ao determinarem-se os valores de densidade espectral para as séries temporais da deficiência hídrica e excesso hídrico, constatou-se que eram quase constantes. Nesse caso, a série temporal é aleatória, visto que a distribuição das concentrações das flutuações para todas as bandas de frequência são iguais. Por isso, as séries temporais são consideradas como um ruído branco (Quadros 11 e 12).

Nas Figuras 15a, 15b, 15c, 15d, 16a, 16c e 16d, verificou-se que, apesar dos valores quase que constantes para densidade espectral, havia aparentes concentrações de flutuações para certas bandas de frequências.

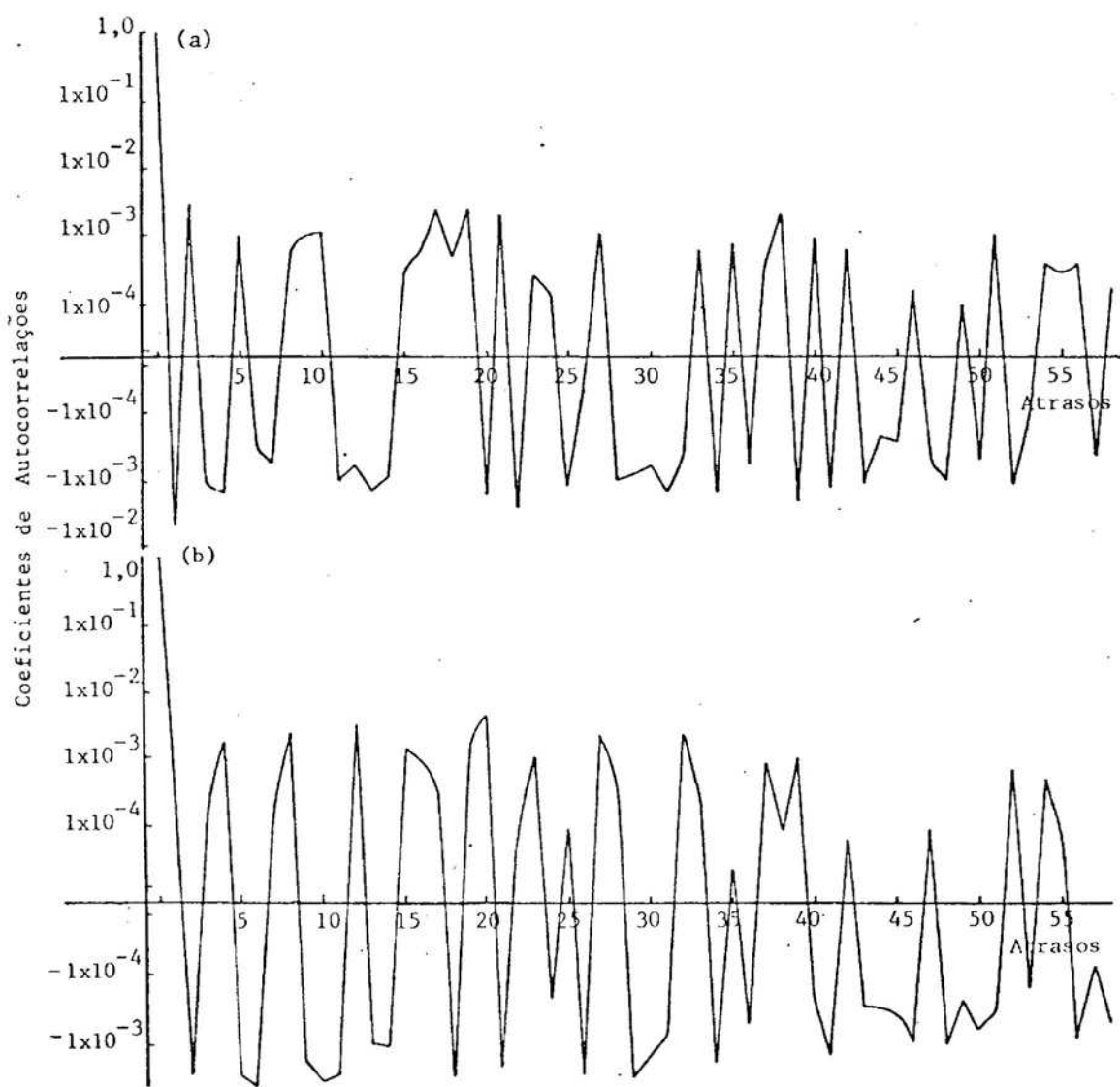


FIGURA 14 - Correlograma da Deficiência Hídrica para o Mês de Julho (a) e do Excesso Hídrico para o Mês de Janeiro (b)

QUADRO 11 - Densidade Espectral e Frequências da Deficiência Hídrica para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro

Meses	Densidade Espectral		Frequência	
	$\rho(f)_{\max}$	$\rho(f)_{\min}$	$f_{\rho(f)\max}$	$f_{\rho(f)\min}$
Janeiro	1,029	$9,86 \times 10^{-1}$	$3,97 \times 10^{-1}$	$2,50 \times 10^{-1}$
Abril	1,039	$9,83 \times 10^{-1}$	$2,59 \times 10^{-1}$	$3,19 \times 10^{-1}$
Julho	1,02	$9,84 \times 10^{-1}$	$9,48 \times 10^{-2}$	$3,79 \times 10^{-1}$
Outubro	1,04	$9,83 \times 10^{-1}$	$3,19 \times 10^{-1}$	$2,76 \times 10^{-1}$

QUADRO 12 - Densidade Espectral e Frequências do Excesso Hídrico para os Meses de Janeiro, Abril, Julho e Outubro

Meses	Densidade Espectral		Frequência	
	$\rho(f)_{\max}$	$\rho(f)_{\min}$	$f_{\rho(f)\max}$	$f_{\rho(f)\min}$
Janeiro	1,00	$9,86 \times 10^{-1}$	$1,12 \times 10^{-1}$	$2,76 \times 10^{-1}$
Abril	1,03	$8,85 \times 10^{-1}$	$2,16 \times 10^{-1}$	$3,36 \times 10^{-1}$
Julho	1,02	$9,87 \times 10^{-1}$	$6,03 \times 10^{-2}$	$3,79 \times 10^{-1}$
Outubro	1,04	$9,84 \times 10^{-1}$	$1,55 \times 10^{-1}$	$2,24 \times 10^{-1}$

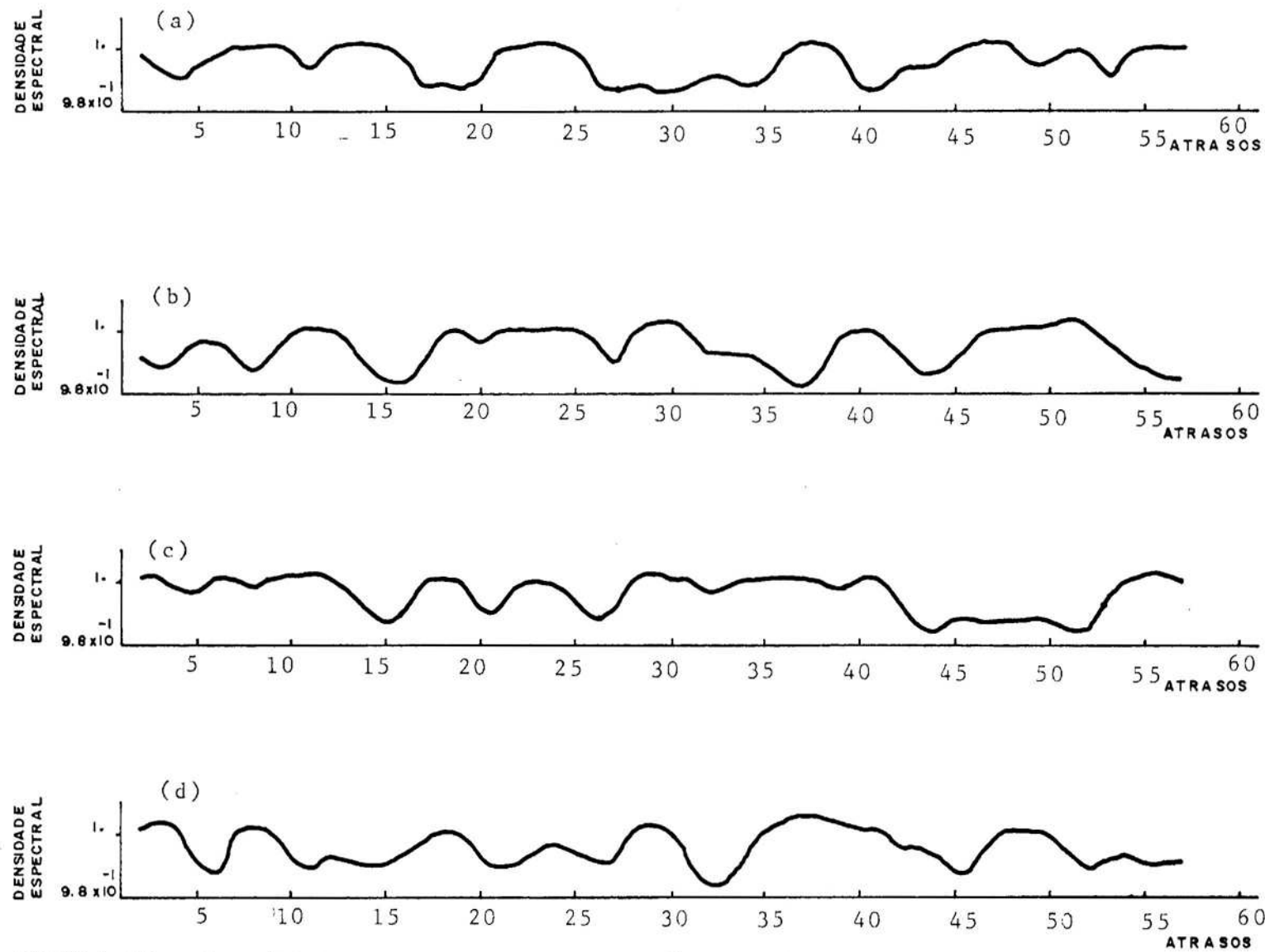


FIGURA 15 - Densidade Espectral da Deficiência Hídrica para os Meses de Janeiro (a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d)

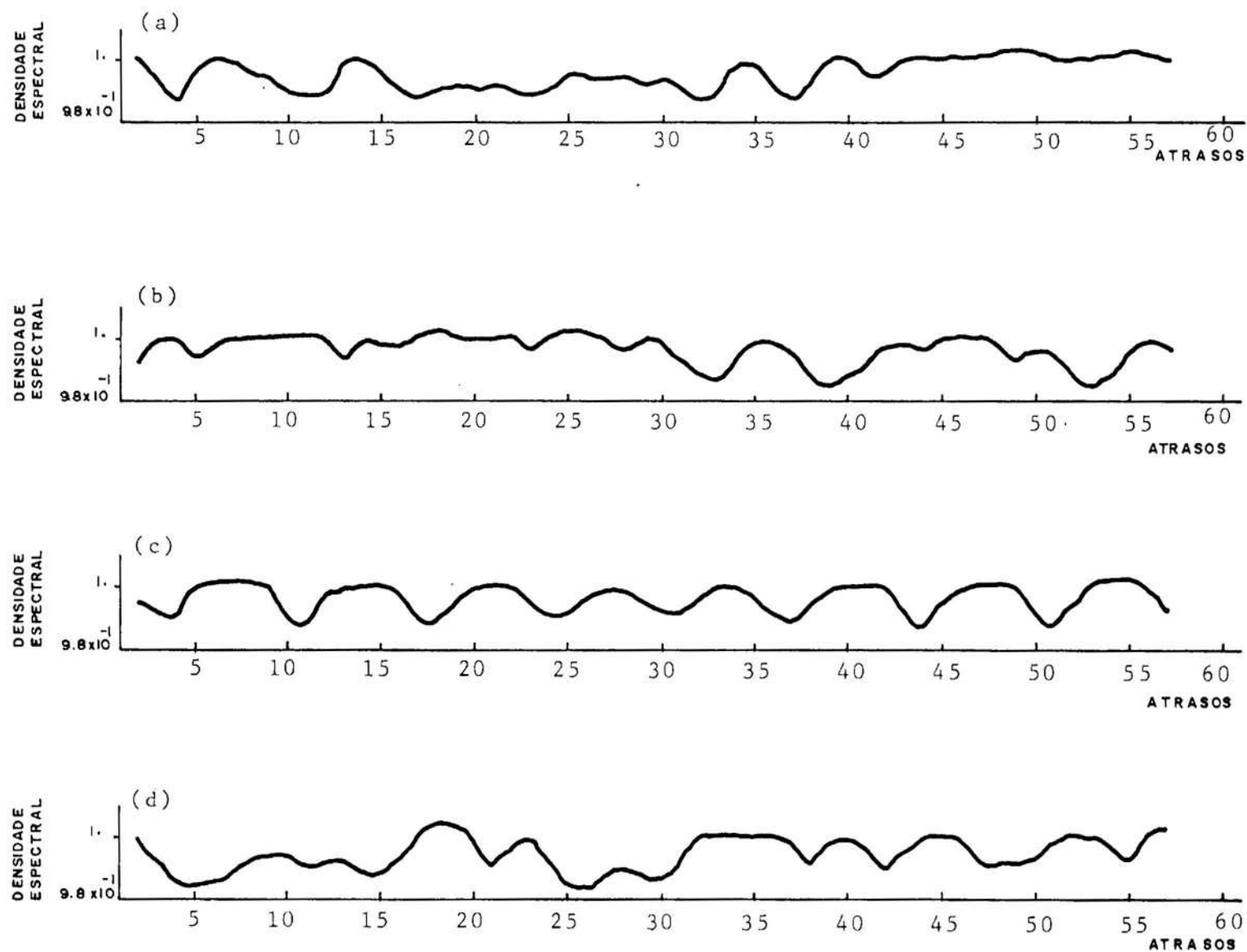


FIGURA 16 - Densidade Espectral do Excesso Hídrico para os Meses de Janeiro(a), Abril (b), Julho (c) e Outubro (d)

5. RESUMO E CONCLUSÕES

A finalidade deste trabalho foi estudar o comportamento dos componentes do balanço hídrico para o solo de Viçosa, MG. Para tal, recorreu-se às técnicas de: médias móveis de cinco e onze anos, análise harmônica, função de autocorrelação e análise espectral.

Para a técnica das médias móveis de onze anos, obtiveram-se as seguintes conclusões:

De 1935 a 1950, houve aumento de temperatura média do ar para os meses estudados, bem nítido para os meses de julho e outubro.

Para o mês de janeiro, houve um período de estabilidade de 1957 a 1960, comum à temperatura média do ar, à EP e à ER.

Há tendência para decréscimo da temperatura média do ar, EP e ER para os meses de verão e outono e de aumento para os meses de inverno e primavera.

Para os meses de janeiro e julho, a precipitação apresentou indícios de aumento, enquanto que, para os meses de abril e outubro, apresentou inclinação para decréscimo, nos últimos 10 anos.

As deficiências hídricas para os meses de janeiro e julho apresentaram inclinações para decréscimo e, para outubro e abril, indicações para aumento.

Os excessos hídricos, para o mês de janeiro apresentaram tendências para aumento; enquanto que, para o mês de julho, percebeu-se uma definição. Para os meses de abril e outubro notam-se inclinações para decréscimo.

Os resultados obtidos com o emprego da análise harmônica, por meio da série de Fourier, nas séries temporais dos componentes do balanço hídrico, permitem concluir que, para os meses de abril, julho e outubro, a ordem dos harmônicos foram coincidentes para temperatura e EP, conforme esperado.

Segundo os resultados obtidos para função de autocorrelação, deu-se aos correlogramas uma configuração de que as séries de dados dos componentes do balanço hídrico, para todos os meses estudados, são processos estocásticos, desde que os coeficientes das autocorrelações não demonstraram estarem as observações significativamente correlacionadas entre si, não havendo a presença de um evento determinístico, que pudesse auxiliar a uma possível previsão para o futuro, porquanto as informações sucessivas são linearmente independentes.

A análise espectral confirmou o que foi observado nos correlogramas, visto que os valores da densidade espectral foram quase que constantes para todas as séries temporais de todos os meses estudados; por isso foram chamadas de ruído branco. E, assim, concluiu-se que, cada uma das séries temporais é um processo constituído de elementos estocásticos.

Apesar dos dados que constituíram as séries temporais estudadas serem de curto período de observações (59 anos) para estudos climáticos, acredita-se que, para a região de Viçosa, não se caracterizaram periodicidades na média dos componentes do balanço hídrico local, do modo como foi feito o estudo.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. AMARAL, E. & SILVA, J.B. Periodicidades climáticas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE CLIMATOLOGIA NO HEMISFÉRIO SUL. Campinas, 5 a 11 de setembro de 1977 (cópias xerográficas).
2. BUTKOV, E. *Física matemática*. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara. 1958. 459 p.
3. CHU, K. *Principales of econometrics*. Scranton, Intext Educational Publishers. 1972. 208 p.
4. CONRAD, V. & POLIAK, L.W. *Methods in climatology*. Cambridge, Harvard University Press. 1950. 459 p.
5. GIRARDI, C. & TEIXEIRA, L. *Prognóstico do tempo a longo prazo*. São José dos Campos, Centro Técnico Aeroespacial, 1978. 18 p. (Relatório Técnico).
6. HANN, C.T. *Statistical methods in hydrology*. The Iowa State University Press Ames. 1977. 378 p.
7. HSU, H.P. *Análisis de Fourier*. Colombia, Fondo Educativo Interamericano, S.A. 1970. 274 p.
8. JACKSON, I.I. *Climate, water and agriculture in the tropics*. New York, Longman Inc. 1977. 248 p.
9. LEMOS, J.J.S. *Análise espectral de ciclos de comércio agrícola do Brasil*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 1983. 186 p. (Tese D.S.).
10. MARKHAM, C.G. Apparent periodicities in rainfall at Fortaleza, Ceará, Brasil. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, 13(13): 176-179. 1974.

11. MATHER, I.R. *Climatology: fundamentals and applications*. New York, McGraw-Hill Book Company. 1974. 412 p.
12. MOLION, L.C.B. *A climatonic study of the energy and moisture fluxes of the Amazonas Basin with considerations of deforestation effects*. Madison, University of Wisconsin. 1975. 137 p. (Tese Ph.D.).
13. NOBRE, C.A.; YANASSE, H.H. & YANASSE, C.C.F. *Previsão de cas no nordeste pelo método das periodicidades: uso e abusos*. São José dos Campos, Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). 1980. 61 p.
14. PANOFSKY, H.C. & BRIER, C.W. *Some applications of statistics to meteorology*. Pennsylvania, University Park. 1968. 224 p.
15. PRIESTLEY, M.B. *Spectral analysis and time series*. London, Academic Press. 1981. Volume 1. 648 p.
16. SOARES, J.V. *Modelos físico-matemáticos de saída estatística para diagnosticar e prever a marcha diária da temperatura*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 1981. 80 p. (Tese M.S.).
17. TEIXEIRA, L.; GIRARDI, C. & GUEDES, R.L. *Resumo da análise sobre a série pluviométrica da Fortaleza, Ceará, Brasil*. São José dos Campos, Centro Técnico Aeroespacial. 1980. 33 p. (Relatório Técnico).
18. THIÉBAUT, J.T.L. *Emprego da análise harmônica no estudo das precipitações mensais do município de Viçosa (MG)*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 1976. 92 p. (Tese M.S.).
19. THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38: 55 - 94, 1948.
20. THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. *The water balance*. Centerton, Drexel Institute. 1955. 86 p. (Cópias xerográficas).
21. VIANELLO, R.L. *Indícios de mudança climática causada por desmatamento - município de Juiz de Fora - Minas Gerais*. Rio de Janeiro, IBGE. 1976. 165 p. (Boletim nº 251).