

1. Classificação <i>INPE-COM.4/RPE</i> CDU:551.509:551.577.38(812/814)		2. Período	4. Distribuição interna <input type="checkbox"/> externa <input type="checkbox"/>	
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) <i>PREVISÃO DE SECAS</i> <i>CLIMA - NORDESTE DO BRASIL</i> <i>MODIFICAÇÃO ARTIFICIAL DE TEMPO</i>				
5. Relatório nº <i>INPE-1812-RPE/180</i>	6. Data <i>Junho, 1980</i>		7. Revisado por	
8. Título e Sub-Título <i>CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA PREVISÃO DE SÊCAS</i> <i>E MODIFICAÇÃO ARTIFICIAL DO TEMPO E</i> <i>DO CLIMA DO NORDESTE BRASILEIRO</i>			9. Autorizado por <i>Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i>	
10. Setor <i>DIR</i>		Código	11. Nº de cópias	
12. Autoria <i>Fausto Carlos de Almeida</i> <i>Roberto Vicente Calheiros</i> <i>Pedro L. da Silva Dias</i> <i>Terezinha de M.B.S.Xavier</i> <i>Ivan Jelinek Kantor</i> <i>Vernon Edgar Kousky</i>		<i>Luiz Gylvan Meira Filho</i> <i>Luiz Carlos B.Molion</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Srinivasan Srivatsangam</i> <i>Willian M.Gray</i>	14. Nº de páginas <i>91</i>	
13. Assinatura Responsável			15. Preço	
16. Sumário/Notas <i>O presente trabalho, preparado para o Presidente do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, por pesquisadores pertencentes a várias instituições nacionais e publicado na forma de uma coletânea de trabalhos, tem por finalidade apresentar uma análise criteriosa, baseada no conhecimento científico que se dispõe no estágio atual do conhecimento, sobre os problemas de Previsão de Sêcas para o Nordeste Brasileiro e de Modificação Artificial de Tempo e Clima daquela região.</i>				
17. Observações				

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA PREVISÃO DE SÉCAS
E MODIFICAÇÃO ARTIFICIAL DO TEMPO E
DO CLIMA DO NORDESTE BRASILEIRO

JUNHO

1980

ÍNDICE

1. COLABORADORES
2. PREFÁCIO
Nelson de Jesus Parada e Luiz Gylvan Meira Filho
3. PREVISÃO DE SECAS NO NORDESTE DO BRASIL
Srinivasan Srivatsangam
4. SOBRE O USO DA ANÁLISE HARMÔNICA DA PRECIPITAÇÃO DE FORTALEZA
PARA PREVISÃO DE PRECIPITAÇÃO NO NORDESTE
Vernon Edgar Kousky
5. SOBRE A PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE SETE ANOS DE SECA NO
NORDESTE
Luiz Gylvan Meira Filho
6. PREVISÃO DA SÉRIE DE PRECIPITAÇÃO DE CHUVAS DE FORTALEZA PE
LO MÉTODO DE MÁXIMA ENTROPIA DE BURG
Ivan Kantor
7. PERIODICIDADES PLURI-ANUAIS, NA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E
PREVISÕES A LONGO PRAZO
Terezinha de Maria Bezerra Sampaio Xavier
8. OPINIÃO SOBRE A PESQUISA ACERCA DO USO DE PARTÍCULAS DE CAR
VÃO PARA MODIFICAÇÃO ARTIFICIAL DO CLIMA DO NORDESTE(Carta)
William M. Gray
9. COMENTÁRIOS SOBRE O EFEITO DA POEIRA DE CARBONO NA CONVECÇÃO
POR CÚMULOS.
Pedro Leite da Silva Dias
10. O ESTADO DA ARTE DA MODIFICAÇÃO ARTIFICIAL DO TEMPO
Fausto Carlos de Almeida
11. ALGUNS ASPECTOS DA MODIFICAÇÃO ARTIFICIAL DO TEMPO
Roberto Vicente Calheiros

1. COLABORADORES

COLABORARAM NA PREPARAÇÃO DESTE RELATÓRIO

- Fausto Carlos de Almeida, Ph.D., University of Wisconsin
Pesquisador
Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC)
- Roberto Vicente Calheiros, M.Sc., Instituto Tecnológico da Aeronáutica
Diretor Executivo
Fundação Educacional de Bauru (FEB)
- Pedro Leite da Silva Dias, Ph.D., Colorado State University
Professor Adjunto
Universidade de São Paulo/Instituto Astronômico e Geofísico (USP/IAG)
- Terezinha de Maria Bezerra Sampaio Xavier, M.Sc., Universidade de São Paulo
Professor Adjunto
Universidade Federal do Ceará/Centro de Ciências (UFCE/CC)
- Ivan Jelinek Kantor, Ph.D., Rice University
Pesquisador Associado, Chefe do Dept. de Ciência Espacial e da Atmosfera
CNPq/Instituto de Pesquisas Espaciais (CNPq/INPE)
- Vernon Edgar Kousky, Ph.D., University of Washington
Pesquisador Associado
CNPq/Instituto de Pesquisas Espaciais (CNPq/INPE)
- Luiz Gylvan Meira Filho, Ph.D., University of Colorado
Pesquisador, Chefe do Dept. de Meteorologia
CNPq/Instituto de Pesquisas Espaciais (CNPq/INPE)

- Luiz Carlos Baldicero Molion, Ph.D., University of Wisconsin
Pesquisador Associado, Chefe da Div. de Pesquisas do Depto. de Meteorologia
CNPq/Instituto de Pesquisas Espaciais (CNPq/INPE)
- Nelson de Jesus Parada, Ph.D., Massachusetts Institute of Technology
Professor Titular (em licença)
Universidade Estadual de Campinas/Instituto de Física (UNICAMP/IF)
Pesquisador e Diretor
CNPq/Instituto de Pesquisas Espaciais (CNPq/INPE)
- Srinivasan Srivatsangam, Ph.D., Colorado State University
Pesquisador Associado
CNPq/Instituto de Pesquisas Espaciais (CNPq/INPE)

COM CONTRIBUIÇÃO ESCRITA DE:

- William M. Gray, Ph.D., University of Chicago
Professor
Colorado State University, USA

2. PREFÁCIO

Foram recentemente veiculadas, pela imprensa falada e es
crita, notícias sobre a previsão de um período de secas para a região
Nordeste do Brasil, período esse que, iniciado em 1979, se estenderia
até 1985, com um pico no próximo ano, assim como sobre a proposição de
solução para o problema, através da modificação artificial do clima da
quela região, com o uso da técnica de partículas de carvão e subse
quente nucleação artificial de nuvens. Exemplos dessas notícias são as
entrevistas - cujas transcrições são apresentadas em anexo - feitas ao
Jornal Nacional da Rede Globo de Televisão, por técnicos do Instituto
de Atividades Espaciais (IAE) do Centro Técnico Aeroespacial (CTA) de
São José dos Campos, nos dias 21 e 22 de maio próximo passado.

O assunto passou, então, a ser amplamente discutido. Por
várias vezes, foi lançada a indagação sobre quais medidas teria o Gover
no tomado a fim de resolver o problema, pois, de acordo com as informa
ções existentes, teria sido ele alertado com a devida antecedência. A
liberação imediata de verbas, para que o IAE pudesse levar à frente o
seu programa de modificação artificial de tempo, foi calorosamente de
fendida por vários setores do Poder Legislativo. Além disso, foi aven
tada, pela imprensa, a responsabilidade do Conselho Nacional de Desen
volvimento Científico e Tecnológico (CNPq) no processo, como explicita
a matéria publicada no Jornal "O Estado de São Paulo", na sua edição de
3 de junho passado, à página 14: "Os cientistas do IAE revelaram que a
negativa de não colocar o plano em prática partiu do CNPq, que o consi
derou oneroso".

O Relatório Técnico-Científico, preparado para o Presiden
te do CNPq por pesquisadores brasileiros pertencentes a várias Insti
tuições nacionais e publicado a seguir na forma de uma coletânea de tra
balhos, tem por finalidade principal apresentar uma análise criteriosa
sobre os assuntos abordados acima. Não pretende ele iniciar uma polê
mica sobre a matéria, mas simplesmente informar, com o conhecimento

científico e tecnológico que se dispõe atualmente, o que é possível ou aconselhável realizar. São também anexadas ao Relatório cópias de artigos relevantes publicados na literatura científica (ANEXO B), bem como cópia da carta recente recebida do Prof. William Gray, autor original da idéia de modificação climática pelo uso das partículas de carvão.

O problema da Previsão de Secas para o Nordeste Brasileiro é abordado nos seguintes trabalhos do Relatório:

3. "Previsão de Secas no Nordeste do Brasil", pelo Dr. Srinivasam Srinivatsangam.
4. "Sobre o Uso da Análise Harmônica da Precipitação de Fortaleza para a Previsão de Precipitação no Nordeste", pelo Dr. Vernon E. Kousky.
5. "Sobre a Probabilidade de Ocorrência de Sete Anos de Seca no Nordeste", pelo Dr. Luiz Gylvan Meira Filho.
6. "Previsão da Série de Precipitação de Chuvas de Fortaleza pelo Método de Máxima Entropia de Bríng", pelo Dr. Ivan J. Kantor.
7. "Periodicidades Pluri-Anuais na Precipitação Pluviométrica e Previsões a Longo Prazo", pela Prof. Terezinha Bezerra S. Xavier.

Da leitura desses trabalhos, o leitor poderá facilmente tirar as seguintes conclusões:

- a) a previsão anunciada de que deverá ocorrer um período de sete anos de seca no Nordeste (período 1979-1985), tem uma probabilidade estatística de ocorrência extremamente pequena.
- b) o trabalho, que originou a previsão de sete anos de seca, consistiu na análise harmônica de uma série disponível de 130 anos de dados de precipitação (1849-1978), para a cidade de Fortaleza no Ceará.

Para que os resultados obtidos nesse período pudessem ser extrapolados para fora dele seria preciso que ele, assim como as "periodicidades" encontradas de 13 e 26 anos, fossem características, isto é, se repetissem. Não existe, entretanto, evidência física ou experimental de que elas existam. Por outro lado, uma análise estatística correta dos dados demonstram o mesmo. Convém lembrar que a série de 130 anos foi escolhida, não porque ela fosse característica, mas simplesmente porque se dispunham dos dados naquele período. Não existe também, na série de 130 anos, período de 7 ou de 6 anos de seca consecutivos. Certamente, se os autores tivessem considerado outros períodos (por exemplo, um com um número menor de anos), outros resultados teriam sido obtidos e, portanto, diferentes "previsões" teriam sido realizadas.

- c) é demonstrado, num dos trabalhos, que a série de Fortaleza é constituída por eventos estocásticos ou aleatórios, sendo o componente periódico ou determinístico muito pequeno. Apenas a correlação de um ano para o imediatamente próximo é considerável, representando, portanto, a série, um processo Markoviano linear de primeira ordem. E uma tal série de 1000 anos, gerada numa calculadora eletrônica, apresenta alguns segmentos nos quais harmônicos de 13 e 26 anos aparecem, como na série de Fortaleza.
- d) a única afirmação que pode ser feita com os dados disponíveis é que a probabilidade de ocorrência de seca num ano qualquer em Fortaleza é de aproximadamente 18%, e a probabilidade de ocorrência de 7 anos seguidos de seca é de 0,00059%.
- e) mesmo que as oscilações de 13 e 26 anos existissem em Fortaleza, trabalhos aqui apresentados demonstram que existe uma pequena correlação entre os dados daquela cidade e o de outras regiões do Nordeste. Logo, não se pode simplesmente extrapolar os resultados de Fortaleza para toda aquela região.

Poder-se-ia, por outro lado, indagar o que tem sido feito e o que pode ser feito na área de previsão de secas para o Nordeste.

O CNPq vem, desde 1978, promovendo uma concentração de esforços no estudo do problema de secas no Nordeste, sob o ponto de vista meteorológico, visando a previsão de sua ocorrência. Assim, naquele ano, estabeleceu um Projeto de Previsão de Secas, no âmbito do Programa do Trópico Semi-Árido, conduzido em conjunto com a SUDENE. Este projeto engloba os esforços de praticamente todas as organizações de pesquisa do país, trabalhando na área.

O desenvolvimento do Projeto acarretou a realização, em fevereiro de 1980, de uma Reunião (Workshop) sobre a Previsão de Secas no Nordeste do Brasil, da qual participaram, além de todas as entidades nacionais envolvidas no assunto, um grupo selecionado dos maiores especialistas estrangeiros, inclusive o Diretor da Organização Meteorológica Mundial, responsável pelo Programa Mundial do Clima.

O relatório da Reunião, apresentado em anexo (ANEXO A), constitui-se num levantamento atualizado da opinião científica sobre a possibilidade de previsão de secas no Nordeste e quais as linhas de pesquisa a serem seguidas para sua realização.

Foi vislumbrada, durante a Reunião, a possibilidade de previsão da ocorrência de secas no Nordeste com alguns meses de antecedência, pela exploração sistemática de correlações observadas com variáveis geofísicas em outros locais remotos. Ainda, segundo as conclusões da Reunião, estima-se que a solução definitiva do problema de previsão de secas no Nordeste seja fornecida pela simulação do comportamento da atmosfera em escala global, pelo uso dos chamados Modelos Globais de Circulação Geral, que podem ainda ser usados para o teste de hipóteses físicas e o desenvolvimento de modelos de previsão da ocorrência de outros flagelos, como enchentes e geadas, em outras regiões do país.

Baseado nas conclusões acima apresentadas, foi preparado um Programa sobre a Previsão de Flagelos no País, o qual prevê, para o Nordeste, a implantação, em cinco anos, de um modelo de previsão de secas (já seria feita uma previsão inicial, baseada nos métodos empíricos de correlação, em fins de 1980, sobre a precipitação para a estação chuvosa de 1981, previsão essa que seria paulatinamente melhorada, com, a introdução dos Modelos Globais de Circulação Geral da Atmosfera). Este Programa, que contará com a participação de todas as instituições nacionais da área, já foi aprovada, em maio passado, pelo Excelentíssimo Senhor Ministro-Chefe da Secretaria de Planejamento da Presidência da República.

Quanto ao problema relativo à Modificação Artificial de Tempo e Clima (produção de nuvens com partículas de carbono e subsequente precipitação, no local desejado, através da semeadura das nuvens produzidas), é ele abordado nos seguintes trabalhos do Relatório:

8. "Opinião sobre a pesquisa sobre o uso de partículas de carvão", carta enviada pelo Prof. William M. Gray.
9. "Comentários sobre o Efeito da Poeira de Carbono na Convecção por Cúmulos", pelo Dr. Pedro Leite Silva Dias.
10. "O Estado da Arte da Modificação Artificial do Tempo", pelo Dr. Fausto Carlos de Almeida.
11. "Alguns Aspectos da Modificação Artificial do Tempo", pelo Prof. Roberto Vicente Calheiros.

Da sua leitura, podem ser tiradas as seguintes conclusões básicas:

- a) A técnica de produção de nuvens por partículas de carbono ainda está em fase de pesquisa, estimando-se que serão necessários vários anos de estudos e de modelagem numérica, antes que se devam iniciar

tentativas reais de sua aplicação prática. As experiências realizadas em pequena escala não apresentaram resultados conclusivos e as simulações feitas, nesse caso, tem demonstrado a importância de se levar em conta a dispersão e a precipitação (no mar) das partículas de carbono. Já em meso-escala (que é o que se pretende fazer no Nordeste), a técnica nunca foi testada, e o próprio "pai" do método, Prof. Willian Gray, sugere fortemente que o processo seja simulado antes de ser colocado em prática - o que poderá ser feito com os Modelos Globais de Circulação Geral da Atmosfera a serem implantados no Programa de Previsão de Flagelos.

- b) Não existe evidência experimental de que as nuvens produzidas sobre o Oceano Atlântico penetram para dentro do Nordeste Brasileiro; o fato de isto ocorrer em alguns episódios sugere um controle de mecanismos de grande escala, de forma ainda não completamente estabelecida; pelo contrário, a evidência maior é que elas precipitam na região litorânea e, se isso for verdade, a produção de mais nuvens sobre o Atlântico iria acarretar simplesmente um aumento de precipitação na região litorânea, já afetada por enchentes. Além disso, existem trabalhos, publicados na literatura, demonstrando que a precipitação de chuvas, em várias partes do interior do Nordeste, tem outras causas. Logo, tornam-se necessários maiores estudos observacionais sobre os mecanismos de precipitação naquela região, antes de se passar à parte experimental de aplicação da técnica de produção de nuvens com partículas de carbono.
- c) Já a técnica de aumento de precipitação pela semeadura de nuvens tem sido vastamente investigada (teoria, modelagem e teste de campo), com pelo menos dois projetos já em fase operacional. Deve-se, entretanto, ressaltar que não existe "transferência de tecnologia", isto é, os resultados obtidos para um local (pequena escala) não podem simplesmente ser transferidos para outro. Tanto que existem experiências em locais onde o resultado obtido foi contrário ao esperado. Assim sendo, os resultados anunciados de aumento de 26% na precipitação em Petrolina não podem ser simplesmente estendidos para todo o Nordeste do Brasil). Qualquer decisão sobre a viabilidade de aplicação desta técnica deve ser precedida de minucioso estudo da cli

matologia dos sistemas precipitáveis da região, seguido de teste de campo bem definido e conduzido, tendo em vista que este tipo de validação estatística é extremamente crítico, em se considerando a variabilidade natural do fenômeno sendo testado. O retorno econômico desta técnica, para fins agrícolas, tem sido demonstrado para diversas culturas e aumentos percentuais (entre 10% e 20%) da precipitação.

Parece óbvio que, tendo em vista serem a reduzida taxa de precipitação e sua má distribuição espacial e temporal as causas do fenômeno da seca no Nordeste, com graves consequências para o País, seja dedicada uma atenção grande às Ciências Atmosféricas no Brasil. Por outro lado, a Meteorologia como ciência no Brasil, é relativamente nova. Se utilizarmos o número de pesquisadores com doutoramento, como índice da capacitação nacional nesta área, vemos que passamos de zero em 1969 para somente 15 atualmente (dos quais sete brasileiros), em todos os aspectos da meteorologia, à exceção da agrometeorologia.

A Meteorologia, como ciência, tem uma grande contribuição a dar ao problema da seca no Nordeste, embora esta afirmativa não possa ser considerada, no momento, como uma promessa de que as secas poderão ser previstas com anos de antecedência ou eliminadas. Pode-se, no entanto, garantir que auxiliará o Homem a aprender a conviver com ela, minimizando seus impactos negativos.

Parece-nos que as providências tomadas pelo Governo quanto ao problema de Previsão de Secas e Modificação Artificial do Clima do Nordeste do Brasil - providências essas que devem ocorrer de forma continuada e não somente em ocasiões de crise - tem sido corretas e respaldadas pelo conhecimento científico que se dispõe no estágio atual do conhecimento.

Por outro lado, é natural que, neste estágio ainda embrionário da Ciência da Meteorologia no País, e na ânsia de contribuir para a solução de um problema que todos os brasileiros consideram impor

tante, resultados preliminares sejam apresentados como conclusões de finitivas.

São José dos Campos, junho de 1980

Nelson de Jesus Parada
Diretor do CNPq/INPE

Luiz Gylvan Meira Filho
Chefe do Depto. de Meteorologia do CNPq/INPE

TRANSCRIÇÃO DE NOTICIÁRIO SOBRE O PROBLEMA DA SECA NO NORDESTE

JORNAL NACIONAL

(20 de maio de 1980)

Reporter: "A seca do Nordeste não vai acabar agora; pode durar até 1985, segundo estudos da Aeronáutica divulgados em São José dos Campos, São Paulo.

Em São José dos Campos, a Divisão de Ciências Atmosféricas, do Centro Técnico Aeroespacial, fez uma revelação: O Nordeste estará vivendo de 1979 até 1985 o maior período de seca nos últimos 26 anos. O período mais crítico ainda estará por vir. Será de 1981 a 1983. Este trabalho foi encaminhado aos governadores do Nordeste em Dezembro de 1978 em caráter confidencial. Os técnicos do CTA examinaram todos os dados acumulados sobre chuvas na região desde 1849. O Prof. Carlos Girardi, um dos autores do trabalho, não tem dúvidas de que o Nordeste vai enfrentar nos próximos anos uma das maiores secas da sua história; mesmo que ocorram chuvas esporádicas na região."

Prof. Carlos Girardi: "Todos os anos vão ser secos; qual vai ser o melhor e qual vai ser o pior nós não sabemos com certeza."

Reporter: "Se situaria entre 1981 e 1983 este ciclo mais crítico?"

Prof. Carlos Girardi: "Eu acho que 1981 e 1983 serão os piores anos para o Nordeste, porque existe nesse período uma possibilidade de anos consecutivos de seca extrema."

TRANSCRIÇÃO DE NOTICIÁRIO SOBRE O PROBLEMA DA SECA NO NORDESTE

JORNAL NACIONAL

(21 de maio de 1980)

Repórter: "Os cientistas do Centro Técnico Aeroespacial, em São José dos Campos, já têm uma solução para acabar com a seca no Nordeste.

Prof. Rodolpho Paes Leme Ramos: "Por pesquisas já realizadas por nossa equipe, foi comprovado que somente quando grandes sistemas de nuvens, caminhando do oceano para o continente atingem a região seca, as chuvas ocorrem naturalmente. Acontece que poucas vezes no ano, algo de oito ou sete vezes apenas, esses sistemas se formam naturalmente. O que nós pretendemos é formar mais vezes esses sistemas sobre o oceano, para que possamos aumentar o número de vezes que eles atinjam o continente. Como faremos isso?

Provocando uma nuvem de carbono a aproximadamente 300 km da costa, essa nuvem irá absorver energia solar aquecendo a atmosfera, e, em consequência, vamos aumentar a evaporação sobre o oceano e aumentar a convecção, os dois fatores básicos para formação das grandes nuvens, e essas nuvens seriam levadas pelo vento, que felizmente nesta região sopra sempre oceano-continente; então, as nuvens seriam levadas para o continente onde provocariam precipitação naturalmente ou se fosse necessário nós a nuclearíamos com substâncias higroscópicas, provocando chuvas artificiais."

Repórter: "Quanto tempo e dinheiro seriam necessários para ativar esse projeto e acabar definitivamente com a seca no Nordeste?":

Prof. Paes Leme: "Estimamos que se tivermos os recursos necessários, dentro de uns dois anos poderemos iniciar a fase operacio

nal e quanto aos custos estimados para todo o projeto, que demoraria 20 anos para retornar às condições ideais, custaria bem menos do que um ano de secas custa aos cofres públicos.

3. SOBRE A PREVISÃO DE SECAS NO NORDESTE DO BRASIL

por Srinivasan Srivatsangam

Alguns autores que utilizaram os dados de precipitação anual de Fortaleza, por exemplo Girardi e Teixeira, (1978) e Strang (1979), consideram que estes dados representam uma oportunidade única para a previsão climática a curto prazo. As razões por detrás desta afirmativa são a "longa" extensão do registro de precipitação em Fortaleza e a crença, um tanto ou quanto inocente, na representatividade deste registro para todo o Nordeste do Brasil.

Uma série temporal "longa", é óbvio, pode ser longa em comparação com outra série temporal, e ainda assim não ser longa o suficiente para o fim estatístico específico para o qual se pretende utilizá-la. Consideremos, por exemplo, a situação mundial com respeito ao registro de flutuações turbulentas de vento. São feitos diariamente registros destas flutuações, chamados anemogramas, em pelo menos algumas centenas de estações. Dispomos destes registros por mais de uma década. Vamos admitir que estes registros possam ser considerados como uma série temporal minuto a minuto. Existem então, digamos, mil séries, cada uma consistindo de um milhão ou mais de dados. No entanto, não existe e nem se espera que seja desenvolvido, nenhum método capaz de prever as flutuações turbulentas de forma significativa. Em outras palavras, a disponibilidade de mesmo um bilhão de dados pode ser insuficiente para prever uma variável flutuante.

A série temporal de precipitação anual de Fortaleza consiste de cerca de 130 observações independentes, de 1849 a 1978. O problema aqui é a previsão da precipitação para o futuro imediato, digamos para 5 anos. Para este fim, os dados de Fortaleza constituem uma série "longa"? Parece-nos, se extrapolarmos do exemplo das flutuações de vento turbulento descritas acima, que a série de Fortaleza não somente é curta, mas também que, se nós dispuséssemos de uma série muito mais longa, por exemplo de mil anos, quaisquer peculiaridades aparentes em uma sub-amostra de 130 anos, por exemplo uma periodicidade de

dez anos, apareceria fracamente ou mesmo estaria ausente da série mais longa.

Alguns autores que utilizaram os dados de precipitação de Fortaleza, por exemplo Markham (1974), Girardi e Teixeira (1978) e Strang (1979), consideram a existência de componentes periódicos nos dados. Outros, por exemplo Jones e Kearns (1976), negam a existência destes componentes periódicos. A pergunta a ser respondida é: As periodicidades notadas por Markham, Girardi e Teixeira e Strang são fruto do acaso?

Antes de respondermos a esta questão, consideremos o status atual das periodicidades na meteorologia. Uma referência muito útil é Ward e Shapiro (1961), que dizem: "As periodicidades não somente revelam certos fatos da dinâmica do sistema atmosférico, mas podem também ser uma ferramenta de previsão. Por estas razões a busca de periodicidades tem recebido atenção generalizada. Um rápido levantamento da literatura revela descobertas suficientes de períodos para produzir um espectro quase contínuo. A existência de tantas periodicidades "significativas" em fenômenos meteorológicos é obviamente ridícula".

Lorenz (1963) afirma: "As flutuações incessantes do estado da atmosfera são conhecidas por sua irregularidade. As repetições exatas, que tornariam possíveis previsões de tempo perfeitas por meio de analogias, estão conspicuamente ausentes... Se existem realmente periodicidades escondidas, elas estão muito bem escondidas".

Por último gostaríamos de citar trecho de uma revisão bibliográfica por Haurwitz (1979), embora ele não se refira a periodicidades mas sim a como verificar sua existência: "Hã, entretanto, um aspecto a ser observado uma vez que uma hipótese tenha sido formulada e submetida a um teste estatístico. O teste ou confirmará a hipótese a um certo nível de confiança, ou não confirmará, sempre admitindo que existem dados suficientes. Se isto não for confirmado, os dados podem sugerir uma nova hipótese que se ajuste melhor aos dados originais. Mas esta nova hipótese requer uma nova prova estatística e não pode

ser justificada pelo teste estatístico original porque os dados para o teste anterior devem agora ser considerados como pré-selecionados".

Considerando os dados de Fortaleza (Fig. 1), vemos que as periodicidades descobertas por Markham (1974) e Girardi e Teixeira (1978) estão escondidas por flutuações. A verificação da existência dos ciclos, como sugerido por Haurwitz (op. cit.), dependeria de uma confirmação da existência de ciclos com amplitude e fase comparáveis em outra série independente de 130 anos de dados de precipitação de Fortaleza, já que Jones e Kearns (1976) rejeitaram as idéias originais de Markham (1974).

Não dispomos de registros quantitativos de precipitação para Fortaleza para outros 130 anos. Apesar disto, a hipótese da existência de ciclos de 13 e 26 anos nos dados de Fortaleza pode ser testada. Para fazer o teste, voltemos-nos então para a modelagem estatística, na qual estão baseados, por exemplo, a teoria cinética dos gases devida a Boltzmann, Maxwell, etc, e a mecânica quântica desenvolvida por Heisenberg, Schrödinger, Born e outros. A modelagem estatística é também tradicional em hidrologia (Fleming, 1975, Hann, 1977) e meteorologia (Lorenz, 1965). Não há nada de novo portanto no que descrevemos abaixo.

Haan (op. cit., p. 275) afirma: "Uma série temporal pode ser composta de somente eventos determinísticos, somente eventos estocásticos, ou de uma combinação dos dois. De um modo geral, uma série temporal hidrológica será composta de um componente estocástico superposto a um componente determinístico". Como é evidente da Fig. 1, os dados de Fortaleza contêm um componente estocástico ou aleatório. Talvez eles contenham também um só componente periódico ou determinístico. Como podemos determinar a existência deste último? Uma maneira é através de autocorrelação ρ_k dada por

$$\rho_k = \text{Cov} (R (t) , R (t+k)) / \text{Var} (R (t)) \quad (1)$$

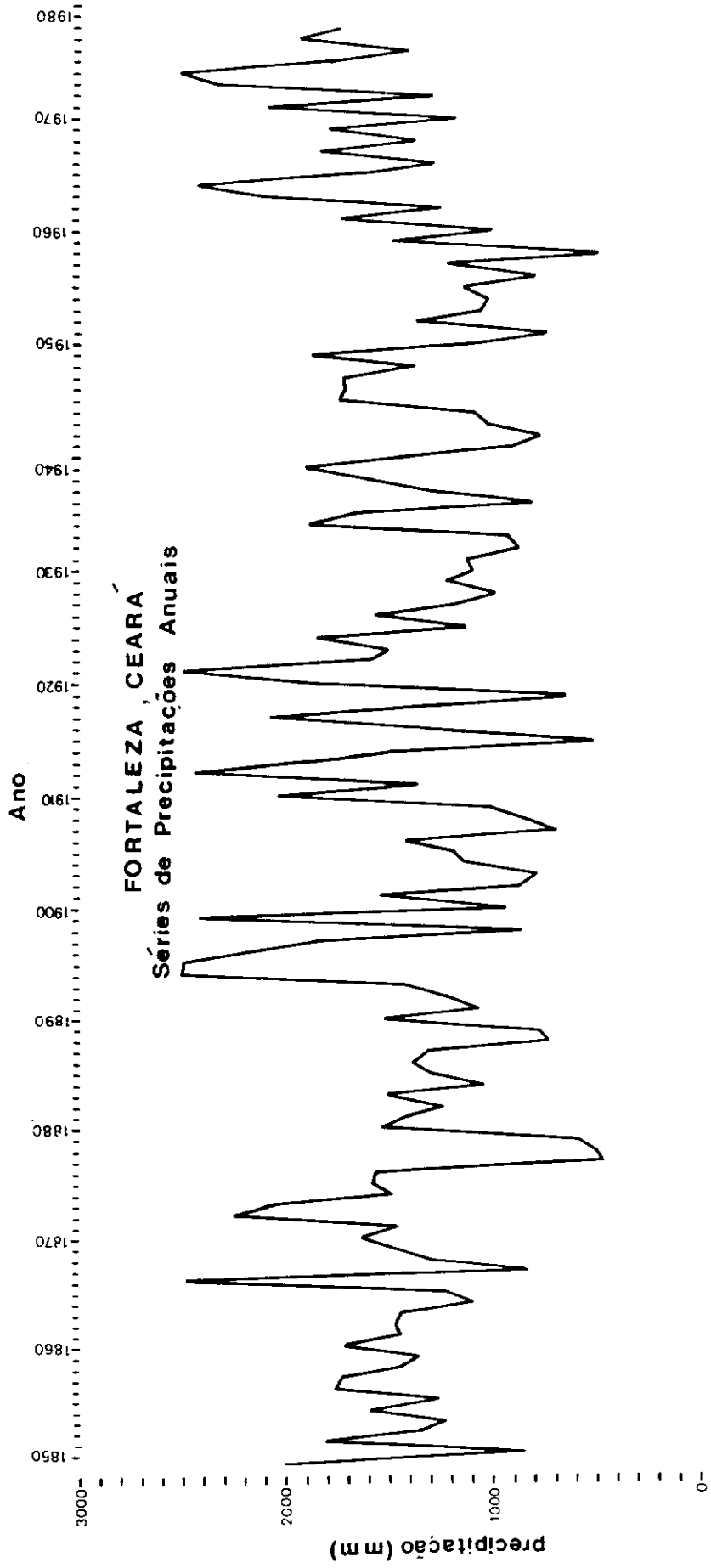


Fig. 1 - Precipitação anual em Fortaleza

onde R é a precipitação anual e t é o tempo; "Cov" significa covariância, e "Var" significa variância, ambos estimados a partir dos dados disponíveis, e k é o retardo ("lag"). No nosso caso, k é medido em anos. Além disso, $|\rho_k| \leq 1$ e $\rho_0 \equiv 1$. A Fig. 2 apresenta um correlograma mostrando ρ_k em função de k , e a Tabela 1 contém a lista dos coeficientes de correlação, todos para os dados de Fortaleza. O leitor deve notar a queda brusca de ρ_0 para ρ_1 . Se $|\rho_k| \sim 0$, a possibilidade de regressão significativa de R_0 para R_k é também praticamente nula. Podemos ver na Fig. 2 e Tabela 1 que $|\rho_k| < 0.2$ se $k > 1$. De fato, mesmo que desejássemos fazer regressão de R_0 para R_1 (isto é, um ano para diante), a porcentagem da variância de R_1 explicada pela regressão seria $\rho_1^2 \times 100 \approx 6$ (Este valor pode ser comparado com uma porcentagem nula da variância explicada se admitirmos que a precipitação no futuro seria a média da precipitação nos últimos 130 anos). Assim, a possibilidade de utilizar a precipitação anual de Fortaleza para prever seu próprio futuro parece ser um exercício fútil. Em vista disto, podemos dizer que os dados de Fortaleza têm um componente determinístico pequeno ou nulo. Portanto, decidimos testar a hipótese de que os dados de Fortaleza representam um processo de Markov linear, ou de primeira ordem.

Nossa decisão de testar a hipótese de Markov é baseada no fato de que uma das principais descobertas da análise estatística de dados meteorológicos foi a semelhança do comportamento de virtualmente todas as variáveis meteorológicas com o processo de Markov mencionado (vide Lorenz, 1965, Enger, 1957, Gilman et al., 1963, e Ward e Shapiro, 1961). Já que muitas séries temporais podem também ser simuladas como processos de Markov, (vide Haan, 1977 e Fleming, 1975), nosa hipótese merece certamente ser considerada.

Um processo de Markov linear, ou de primeira ordem, ou simplesmente, neste contexto, um processo de Markov, consiste de "uma série temporal discreta que depende somente de seu valor imediatamente anterior mais um componente aleatório" (Gilman et al., 1963). Este processo pode ser representado por

$$P_k = \rho P_{k-1} + E_k \quad (2)$$

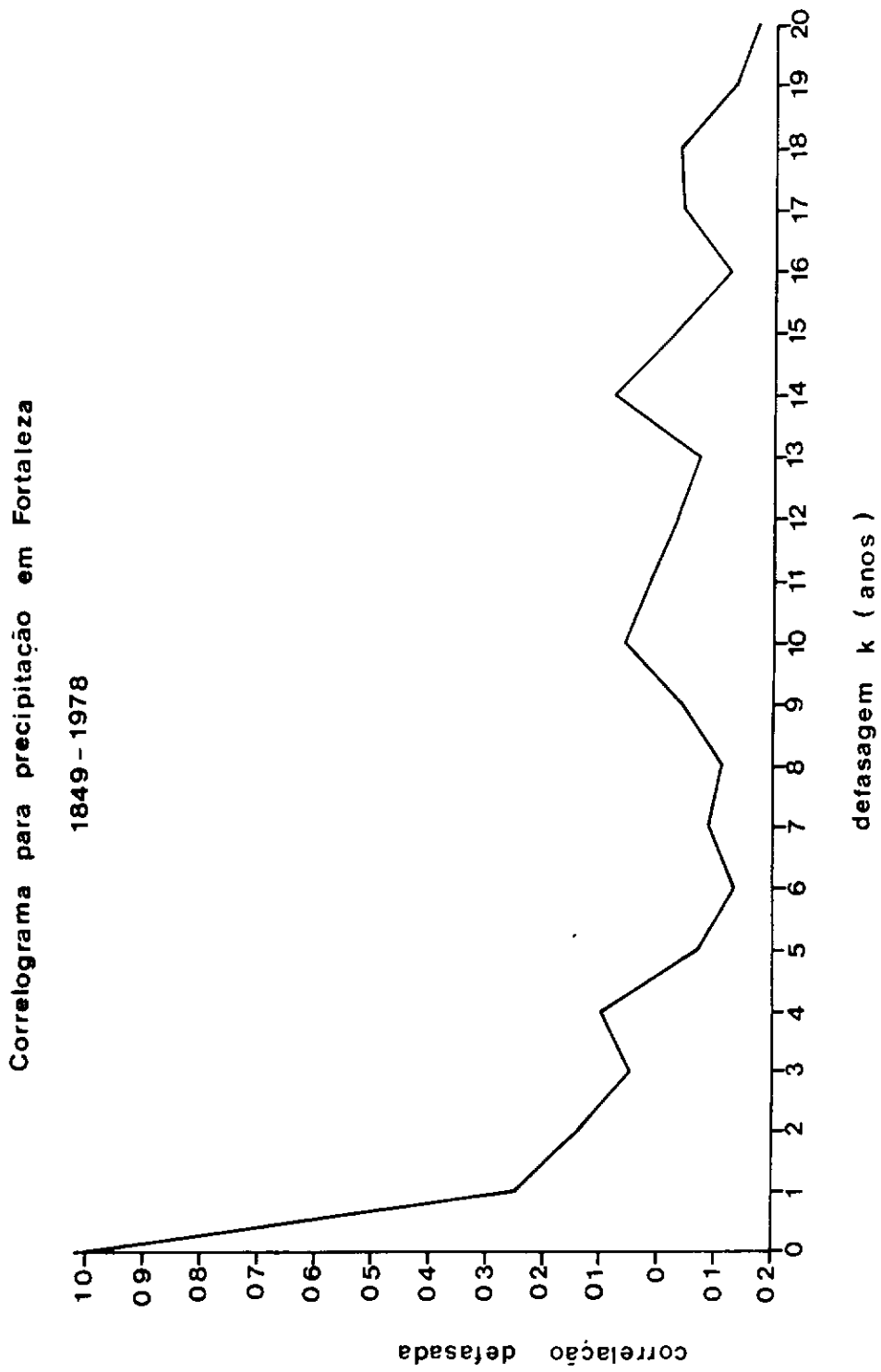


Fig. 2 - Correlograma para Precipitação em Fortaleza

TABELA 1

Coefficientes da correlação de retardo (lag) calculados da precipitação cumulativa anual de Fortaleza, 1849-1978.

Retardo, k em anos	ρ_k	ρ_1^k
0	1.000	
1	0.246	0.246
2	0.141	0.061
3	0.052	0.015
4	0.096	0.004
5	-0.070	
6	-0.131	
7	-0.088	
8	-0.110	
9	-0.040	
10	0.061	
11	0.014	
12	-0.027	
13	-0.070	
14	0.082	
15	-0.024	
16	-0.119	
17	-0.041	
18	-0.036	
19	-0.131	
20	-0.170	

onde ρ é uma constante e E é um componente aleatório ou Gaussiano com a expectância $E_x(E) = \mu_E$ e variância $Var(E) = \sigma_E^2$, onde σ_E e μ_E podem ser dados. Da Equação (2) notamos que se $\rho = 0$, então

$$P_k = E_k \quad (3)$$

e portanto o processo de Markov torna-se um processo Gaussiano. Um valor de ρ diferente de zero significa que P_k está relacionado com P_{k-1} . Em outras palavras, existe uma correlação de retardo unitário entre os P_k 's. De fato se nós suspeitamos que o comportamento de uma variável observada é Markoviano, para simulá-lo nós utilizamos $\rho = \rho_1$, onde ρ_1 é o coeficiente de correlação de retardo unitário observado.

A diferença essencial entre o processo Gaussiano da Equação (3) e o processo Markoviano da Equação (2) é portanto devido ao termo da Equação (2) que contém ρ . Este termo representa um efeito de persistência do passado, e quanto maior o valor de ρ , maior é este efeito de persistência. Assim, o termo da Equação (2) que contém ρ representa persistência que é, naturalmente, uma característica essencial de todos os sistemas naturais.

Espera-se que um processo Gaussiano tenha um espectro de ruído branco. Um espectro de ruído branco tem uma densidade espectral (ou, imprecisamente, uma variância) independente da frequência. Qual é o efeito espectral de adicionarmos persistência ao processo Gaussiano? Ocorre que a persistência reduz a densidade espectral em frequências mais altas e aumenta-a em frequências mais baixas. Quanto maior o valor de ρ maior é a concentração de densidade espectral em baixas frequências. Estas afirmativas podem ser verificadas escrevendo o valor de P_k , e expandindo a Equação (2) várias vezes como

$$P_k = E_k + \rho E_{k-1} + \rho^2 E_{k-2} + \dots + \rho^{k-1} E_1 \quad (4)$$

Podemos ver na Equação (4) que o processo de Markov corresponde a calcularmos uma média móvel de uma série aleatória. No entanto, aqui temos uma média móvel ponderada dos termos atual e antecedentes (Gaus

sianos) - um processo que também atenua as altas frequências, dependendo do valor de ρ . Esta atenuação da densidade espectral em altas frequências de um espectro de ruído branco produz o que se chama de um espectro de ruído vermelho, isto é, um espectro com a maior parte de sua energia nas baixas frequências.

Gilman et al. (op. cit.) deduzem a seguinte equação para a correlação com retardo de um processo de Markov:

$$\rho_k = E_x (P_n P_{n-k}) / E_x (P_n^2) = \rho_1^k \quad (5)$$

Podemos utilizar a Equação (5) como um teste para a hipótese de que os dados de Fortaleza constituem um processo de Markov. Na Tabela 1 apresentamos os valores de ρ_1^k para os primeiros valores do retardo k . Pode-se ver desta informação que após o segundo retardo, ρ_1^k pode ser considerado como sendo igual a zero. Perguntamos agora se a correlação com retardo para cada retardo dos dados de Fortaleza é significativamente diferente do valor de ρ_1^k correspondente. Nossa hipótese nula é: A correlação com retardo P_k da amostra é consistente com uma população com correlação com retardo ρ_1^k , para cada k . Como os ρ_1^k são pelo menos inicialmente diferentes de zero, podemos usar as transformações Z de Fisher

$$Z = \frac{1}{2} \log_e \frac{1 + \rho_k}{1 - \rho_k}$$

e

$$\mu_Z = \frac{1}{2} \log_e \frac{1 + \rho_1^k}{1 - \rho_1^k}$$

como apresentadas por Mode (1961). Para $k > 3$, como $\rho_1^k \sim 0$, podemos admitir $\rho_1^k = 0$ e utilizar uma transformação t . Assim, e utilizando as tabelas de Mode (op. cit.), encontramos que somente o coeficiente de correlação com retardo 20, ρ_{20} é significativamente diferente de ρ_1^k . Entretanto, tendo em vista a falta de confiabilidade dos dados (ver abaixo), não se deve confiar muito na significância estatística.

Assim, alguns dos coeficientes de correlação com retardo deduzidos da série de dados de Fortaleza talvez possam ser significativamente diferentes de ρ^k e podem ser considerados como representando componentes determinísticos na série temporal. Entretanto, estes coeficientes de correlação com retardo com $|\rho_k| < 0.2$ não tem significado prático, no sentido de que as equações de regressão deduzidas deles tem pequena destreza¹.

Além disso, é de duvidar que os dados de precipitação sejam suficientemente bons para que estes coeficientes sejam significativamente diferente de zero, mesmo que os dados sejam corrigidos. Strang (1979) comenta sobre as incertezas associadas com estes dados. Por estas razões, decidimos simular os dados de precipitação de Fortaleza utilizando a Equação (2). A técnica de simulação é descrita no Apêndice.

A Figura 3 apresenta uma amostra de 1 000 anos de dados de precipitação simulados para Fortaleza. Em alguns trechos destes dados simulados, são desenhados componentes harmônicos de períodos de 26 e 13 anos. O leitor poderá notar que em alguns segmentos de dados as secas ocorrem predominantemente quando ambos os harmônicos de 26 e 13 anos estão abaixo de seus valores nodais. Este é o critério utilizado por Girardi e Teixeira (1978) em suas previsões de secas para o Nordeste do Brasil. Apesar disto, se o leitor considerar os mesmos harmônicos em outros trechos dos dados simulados, ele não conseguirá confirmar o critério de Girardi-Teixeira.

¹ Destreza, do inglês "skill", no contexto de técnicas de previsão, refere-se a uma variável utilizada para medir o valor de uma previsão. Embora possa ser definida de várias maneiras, representa sempre uma variável que assume os valores: a) zero, quando a previsão não explica nada da variância original dos dados, ou seja, quando a previsão não é melhor do que a simples climatologia especificada pela estimativa da média e variância da variável prevista; b) 100% quando a previsão explica toda a variância, ou seja quando a previsão é perfeita; c) intermediário entre 0% e 100%, sendo função monotônica crescente da variância explicada. Assim, a destreza é uma medida objetiva do valor de uma previsão.

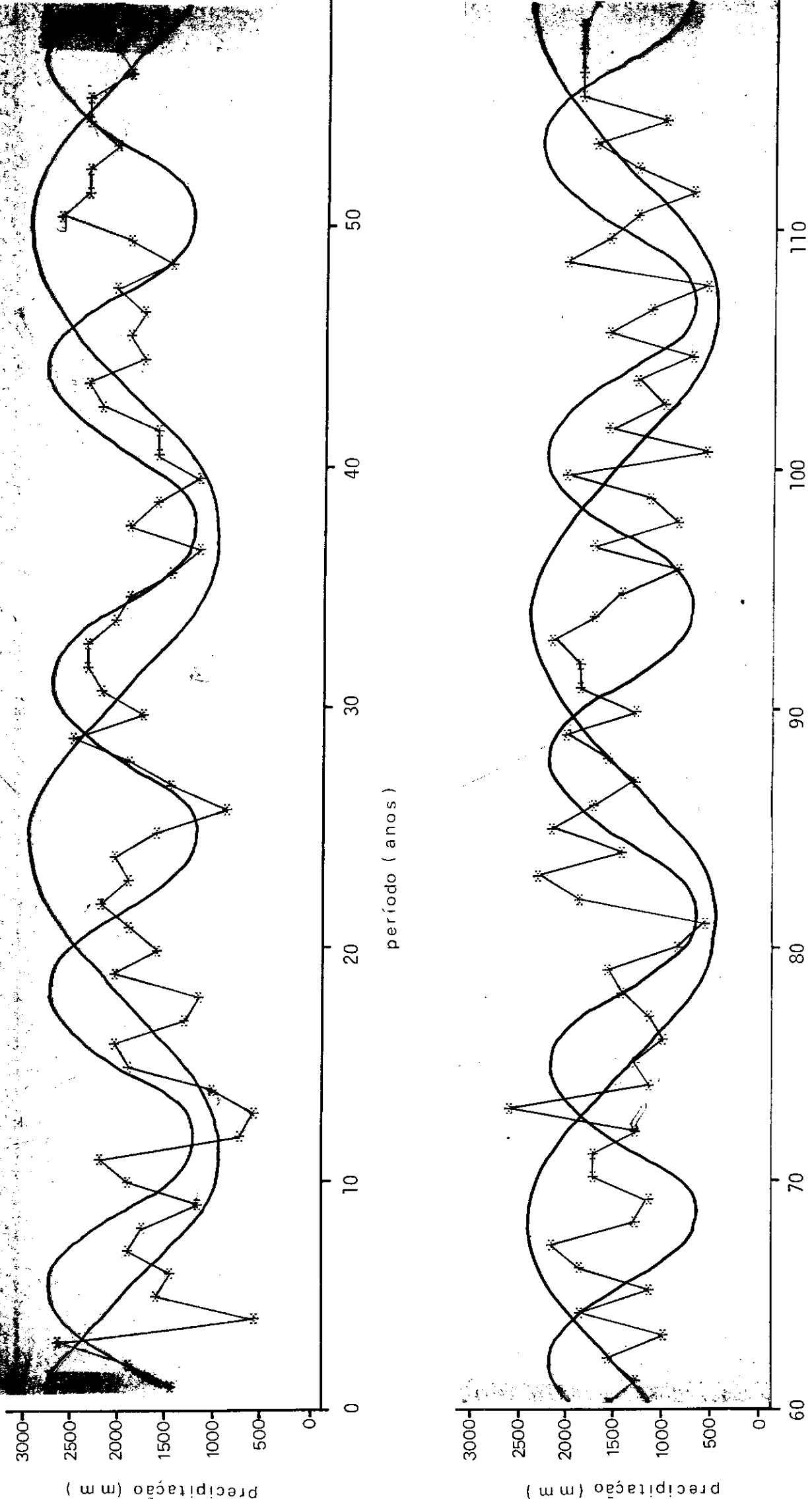


Fig. 3 - Simulação da Precipitação em Fortaleza por Processo de Markov.

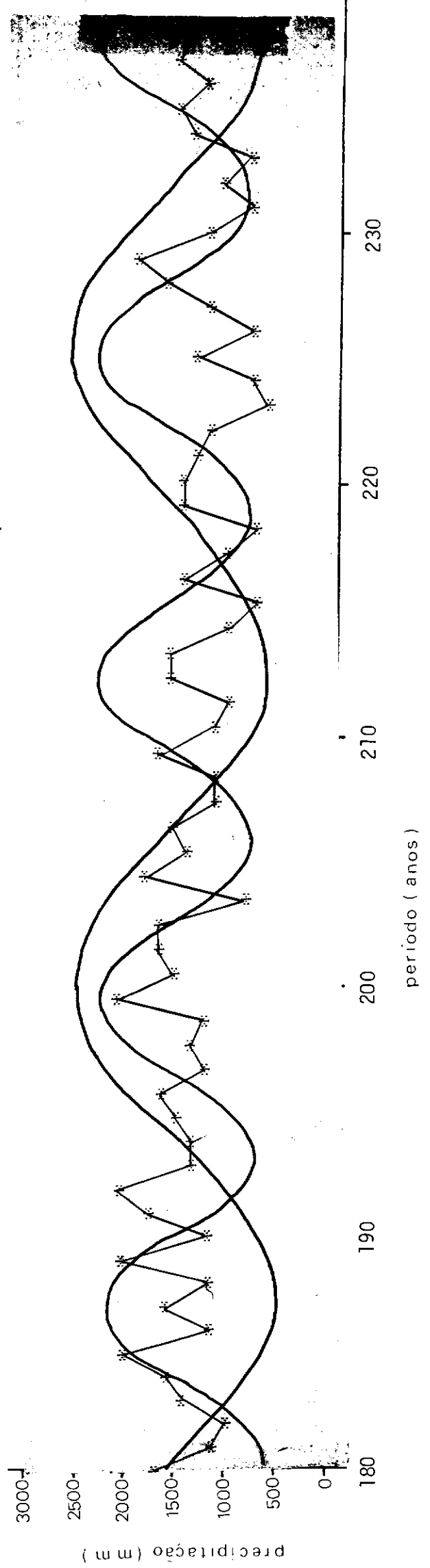
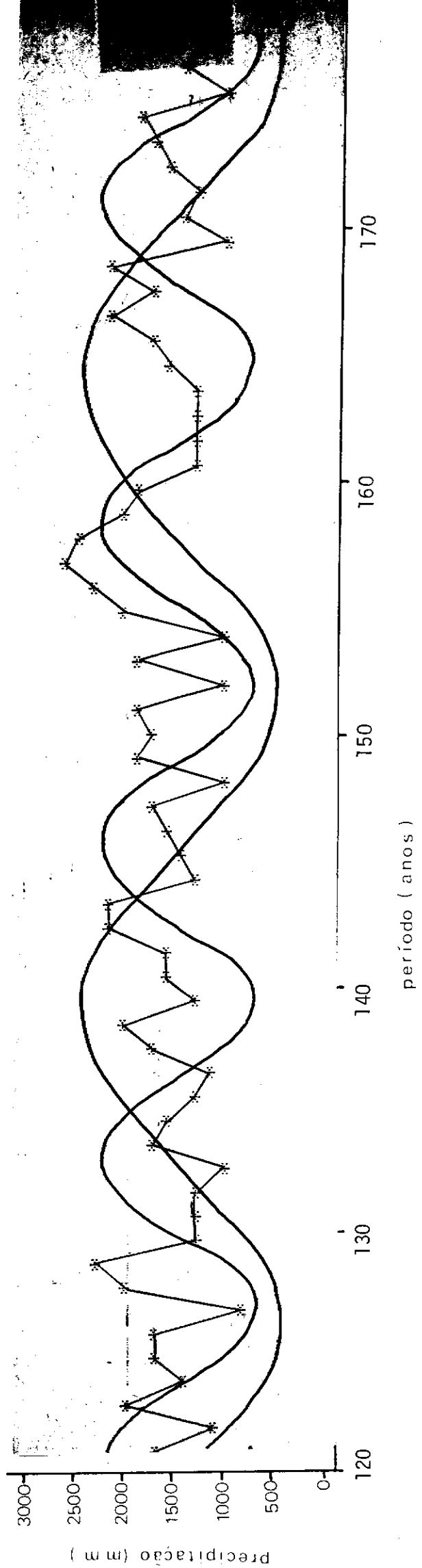


Fig. 3 - continuação

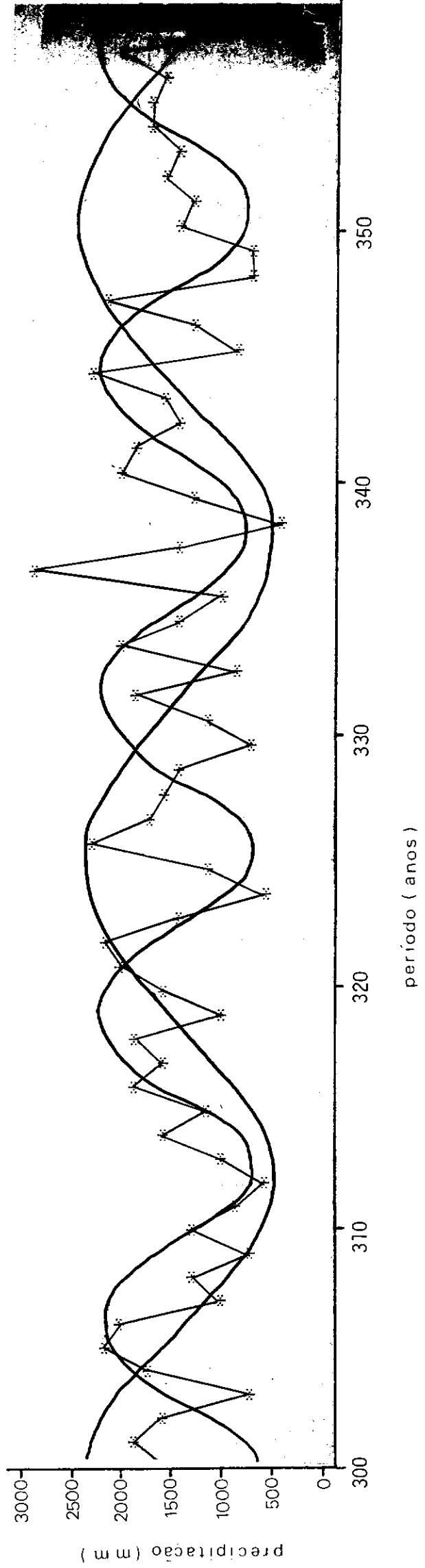
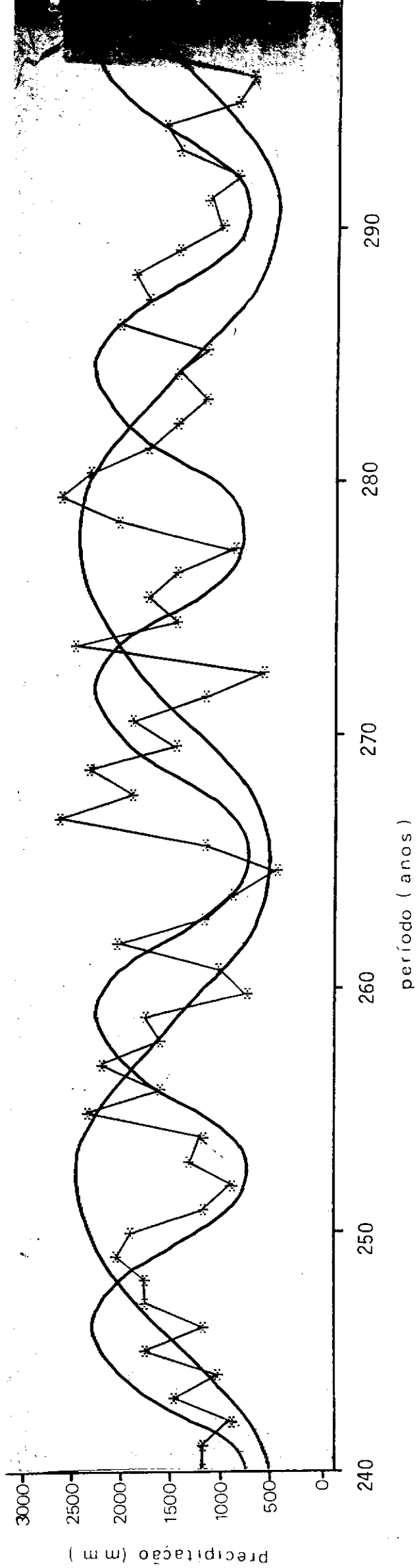


Fig. 3 - continuação

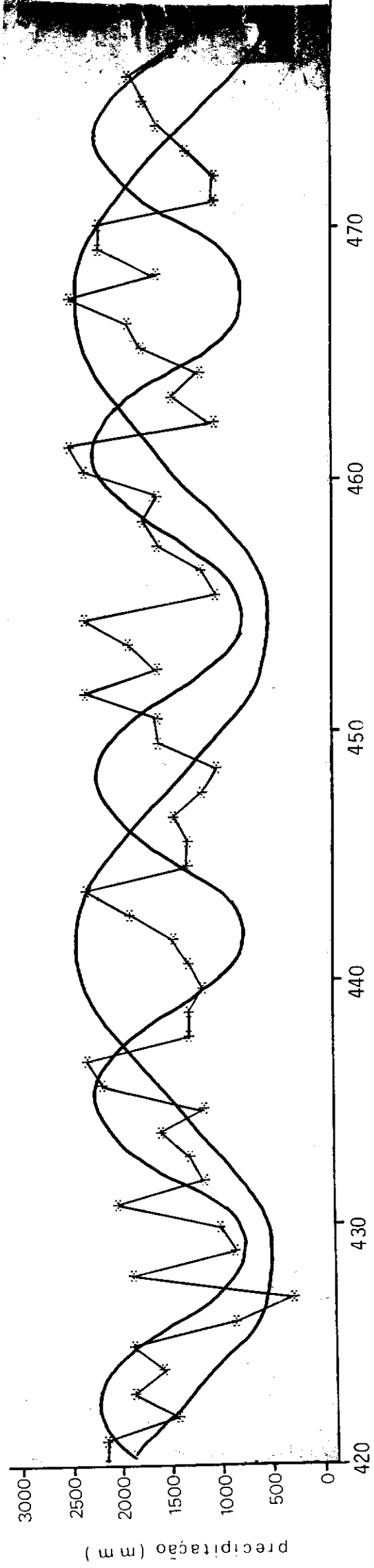
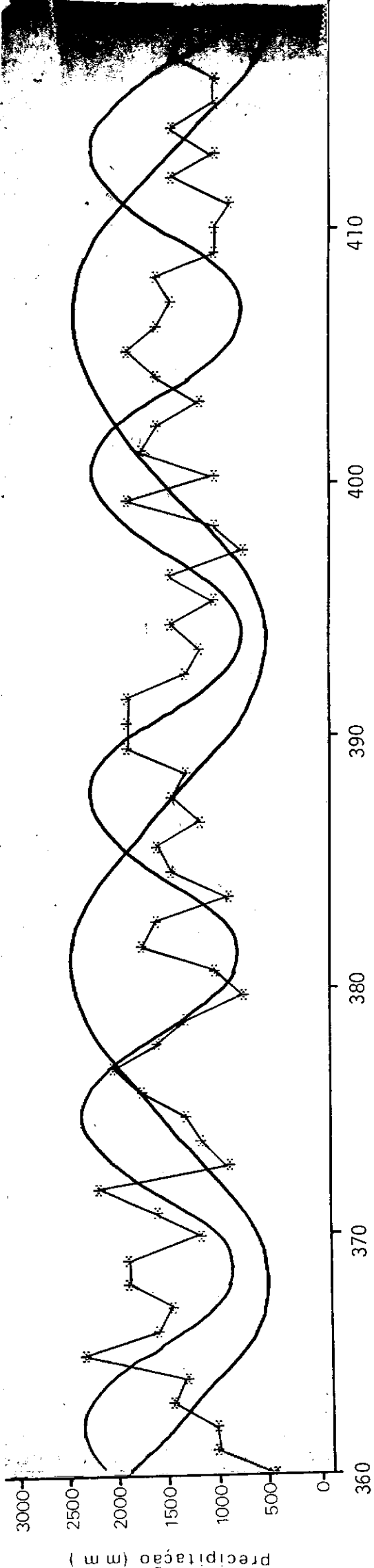


Fig. 3 - continuação

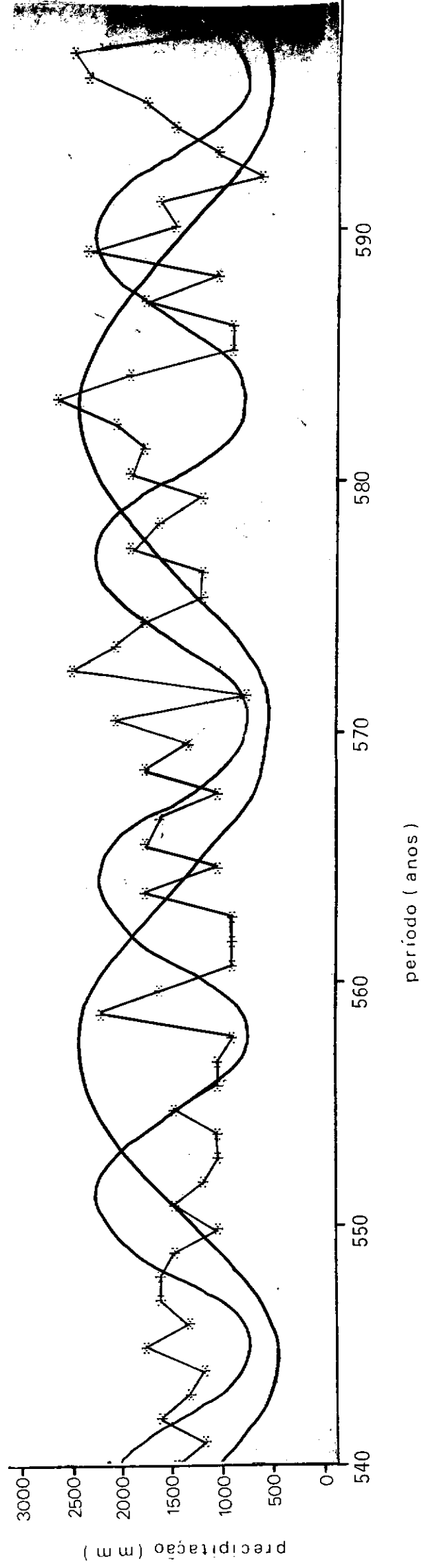
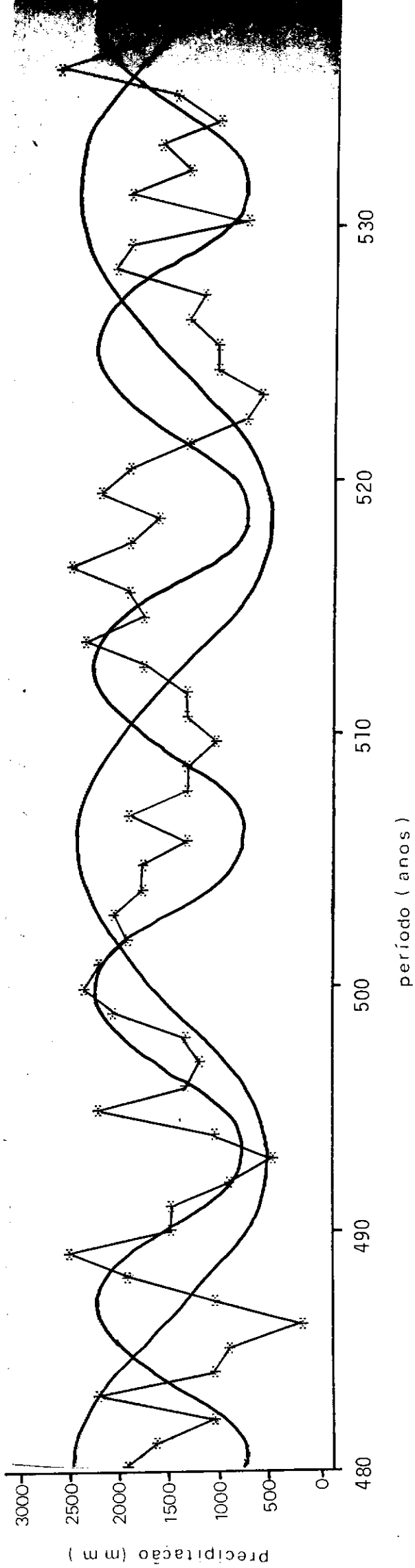


Fig. 3 - continuação

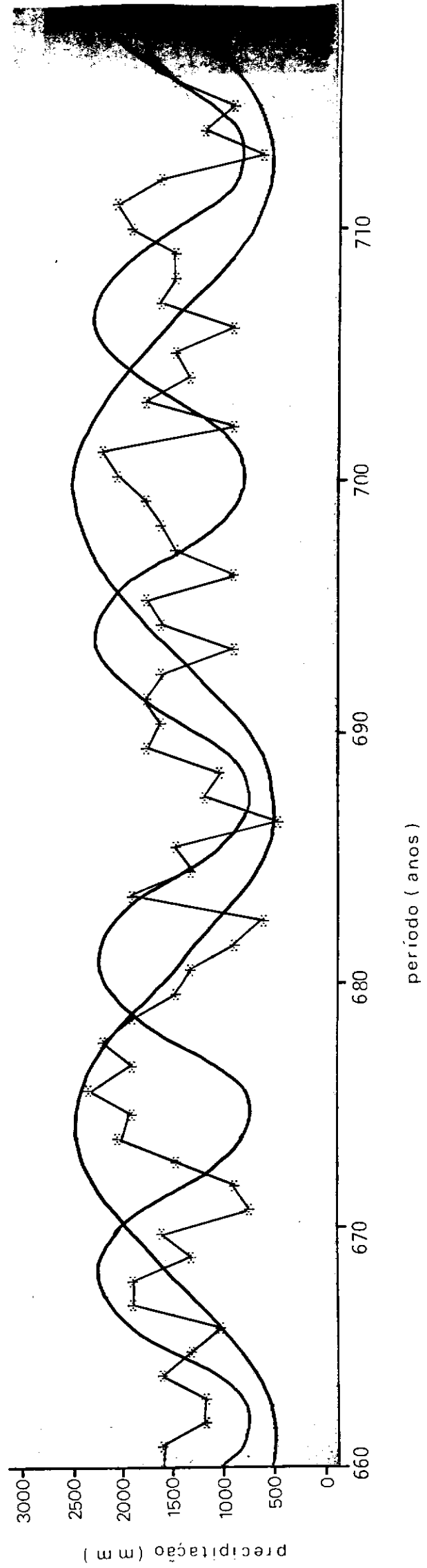
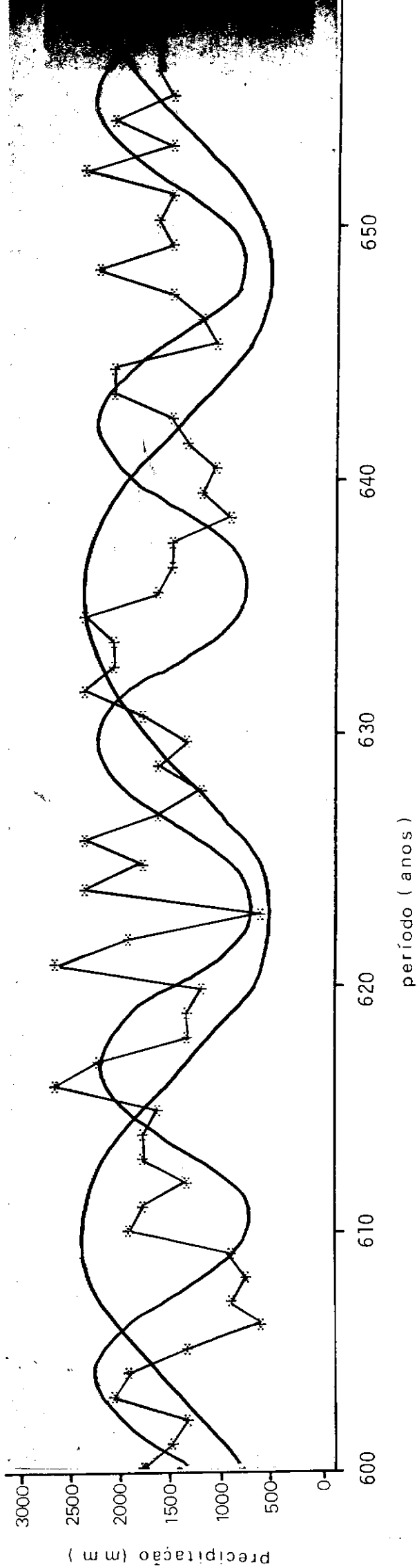


Fig. 3 - continuação

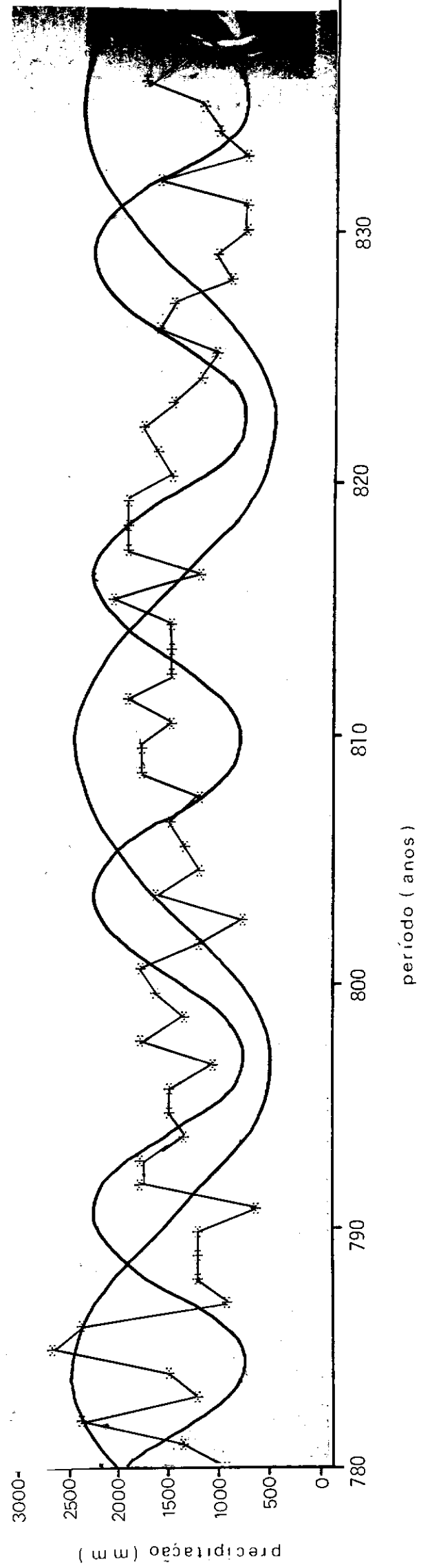
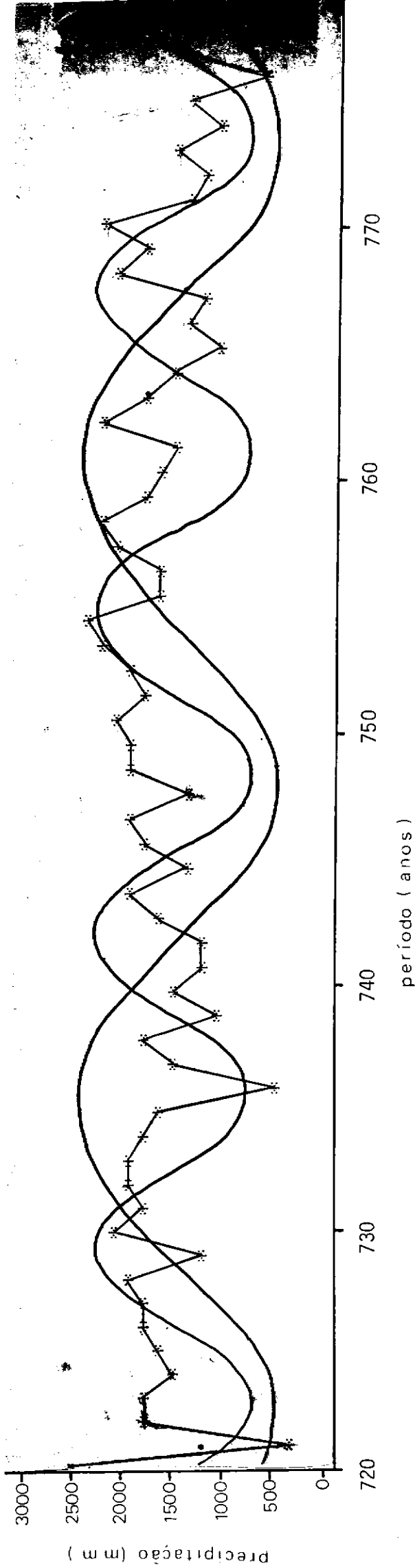


Fig. 3 - continuação

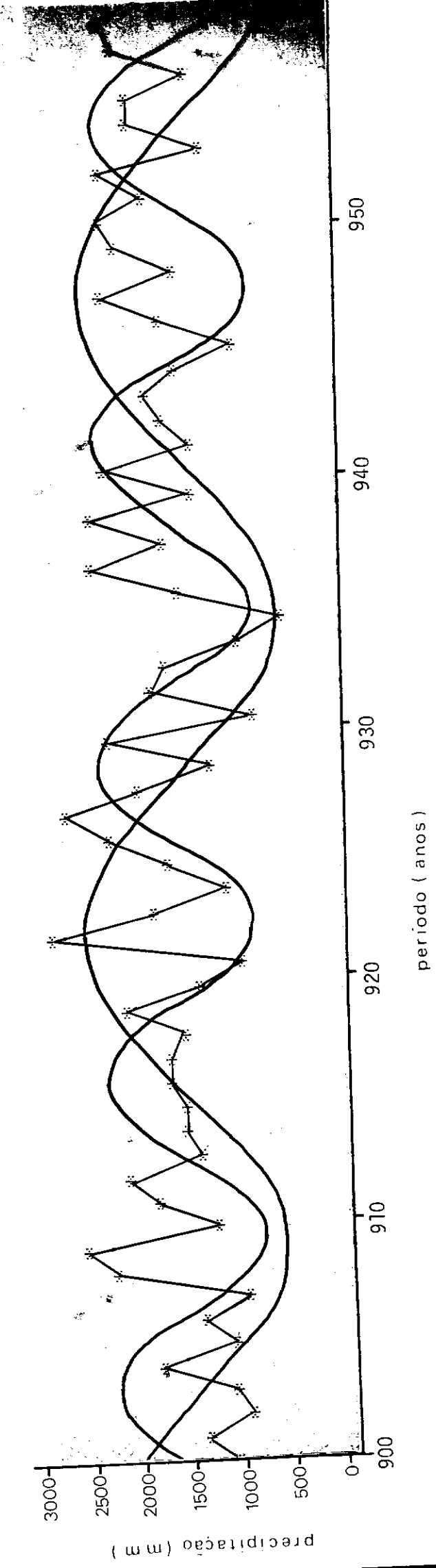
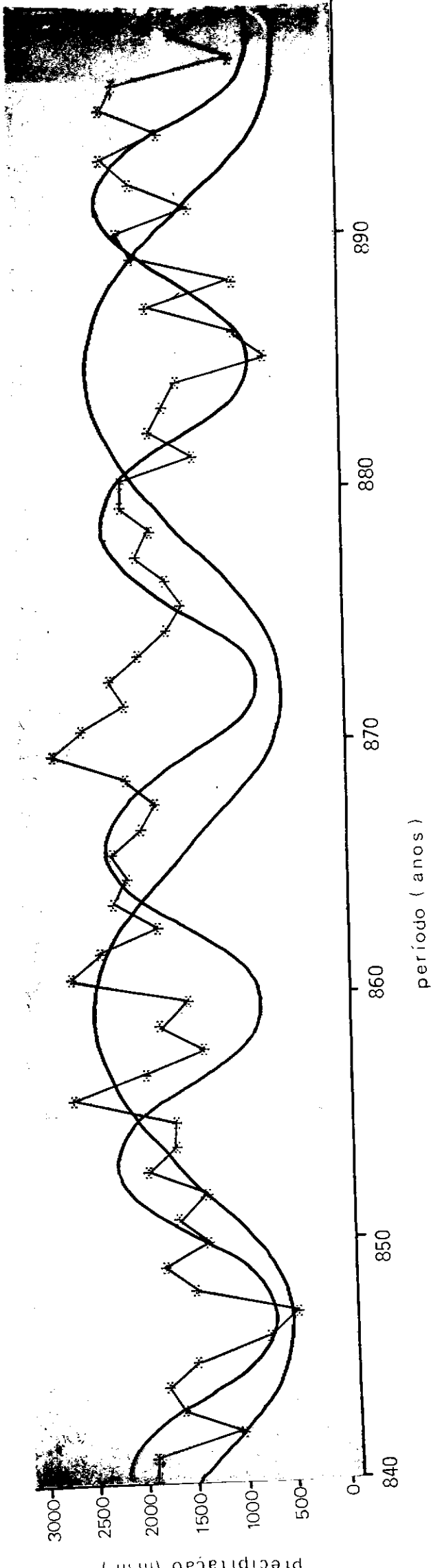
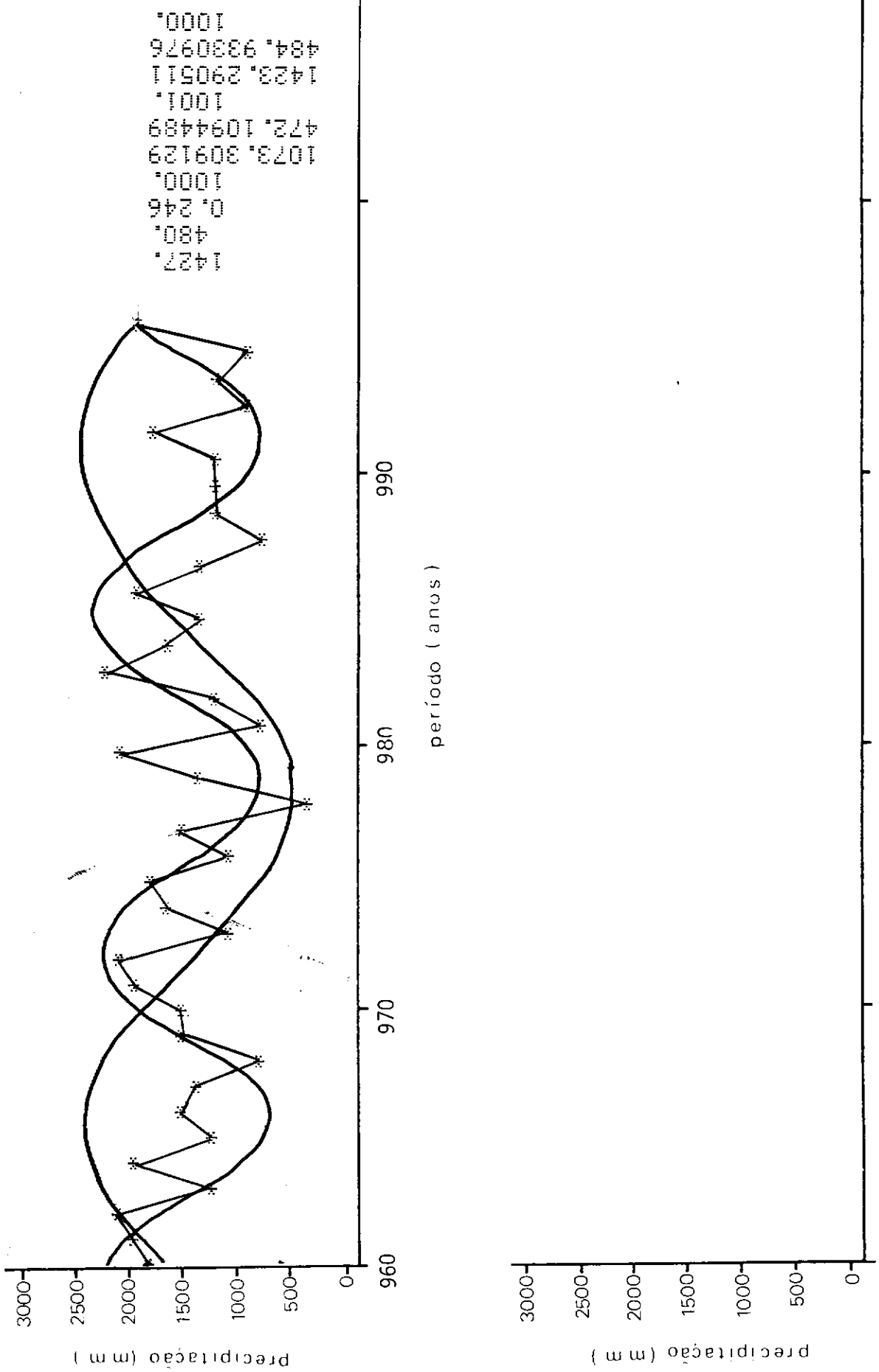


Fig. 3 - continuação



período (anos)

Fig. 3 - continuação

Além disso, consideramos que o critério de Girardi-Teixeira não é um critério bem definido, no sentido de valores sub-normais dos harmônicos estão associados com secas, mas o contrário não é verdadeiro. Isto é, se um ou ambos dos harmônicos tem valores acima dos nós, podem ainda ocorrer secas, mesmo secas prolongadas, como por exemplo entre 1939 e 1944 e entre 1882 e 1893 (Girardi e Teixeira, op. cit.). Assim este critério não pode ser considerado equivalente à hipótese da existência de ciclos de 26 ou 13 anos, os quais por sua vez não existem, como mostrado por Jones e Kearns (op. cit.). A determinação do critério deve ser considerada como uma manipulação através da qual muitas - mas não todas - das secas do passado podem ser pósvisitas². Os dados simulados para 1 000 anos mostram, como tantas outras simulações deste tipo, que a pósvisão² do tipo de Girardi e Teixeira pode ser feita facilmente para segmentos de dados de ruído vermelho. Esta pósvisibilidade², entretanto, não significa que a série é determinística. Na verdade, nossas simulações não contêm nenhum componente determinístico. Evidentemente, então, a destreza das previsões de Girardi-Teixeira é devida ao acaso, e portanto semelhante ao que se obteria com um jogo de cara ou coroa. Devemos lembrar, por último, que previsões feitas ao acaso são de qualidade inferior a previsões climatológicas³.

² O heologismo *pósver* (pósvisão, pósvisibilidade) foi construído por analogia inversa com *prever* (previsão, previsibilidade), a partir do inglês "hindcast", oposto a "forecast", e tem o significado de *prever para trás, para o passado*.

³ A *previsão climatológica* refere-se à *previsão, válida para todo o futuro, baseada simplesmente na estatística do passado*. Assim, a *previsão de precipitação para Fortaleza de uma distribuição normal com média de 1427 mm e desvio padrão de 480 mm é uma previsão climatológica, pois estes são os estimadores da média e desvio padrão baseados nos 130 anos de dados*.

APÊNDICE

O programa apresentado (para a calculadora TI-59 com impressora) gera uma série de números de uma cadeia de Markov, obedecendo à lei,

$$X_{n+1} = \rho X_n + \varepsilon$$

onde ρ é o coeficiente de correlação, ε é um número aleatório com média μ_a e desvio padrão σ_a e de distribuição normal. A seguir é apresentada a listagem do programa, contendo 180 passos da linguagem da máquina "Texas Instruments" TI-59, onde os detalhes de geração de série podem ser acompanhadas.

INSTRUÇÃO PARA USO

1. Carregar o programa na memória.
2. Inicializar: RST
3. Escolher a opção:
 - a) Imprime os resultados em formato de ponto fixo: St Flg 1.
 - b) Produz o gráfico dos resultados, no intervalo $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$: St Flg 2.
 - c) Por exclusão, produz o gráfico substituindo os pontos com os primeiros sete valores pela palavra SECA.
4. Prossiga: R/S
5. Entre o número de pontos desejado e pressione R/S.
6. Entre a média da série e pressione R/S.
7. Entre o desvio padrão da série e pressione R/S.
8. Entre o coeficiente de correlação com defasagem unitária da série e pressione R/S.

9. Entre um número qualquer entre 0 e 99.000 como "semente" da geração de números aleatórios e pressione R/S.

A saída consta de:

1. "Semente"
2. Gráfico ou listagem, como descrito acima.
3. Média, desvio padrão, coeficiente de correlação e número de pontos da série, especificados.
4. Média, desvio padrão e quantidade dos números aleatórios gerados.
5. Média, desvio padrão e número de pontos aleatórios da série obtida na saída.

000	25	CLR	061	21	21	121	69	DP
001	47	CMS	062	33	X²	122	07	07
002	36	PGM	063	44	SUM	123	22	INV
003	15	15	064	22	22	124	59	INT
004	10	E'	065	01	1	125	43	RCL
005	91	R/S	066	44	SUM	126	19	19
006	42	STD	067	23	23	127	61	GTO
007	00	00	068	43	RCL	128	01	01
008	42	STD	069	19	19	129	35	35
009	27	27	070	87	IFF	130	58	FIX
010	91	R/S	071	01	01	131	00	00
011	42	STD	072	01	01	132	99	PRT
012	25	25	073	30	30	133	22	INV
013	91	R/S	074	75	-	134	58	FIX
014	42	STD	075	43	RCL	135	97	DSZ
015	26	26	076	25	25	136	00	00
016	91	R/S	077	95	=	137	00	00
017	42	STD	078	55	+	138	45	45
018	24	24	079	43	RCL	139	98	ADV
019	91	R/S	080	26	26	140	43	RCL
020	99	PRT	081	65	X	141	25	25
021	36	PGM	082	02	2	142	99	PRT
022	15	15	083	00	0	143	43	RCL
023	15	E	084	55	+	144	26	26
024	43	RCL	085	06	6	145	99	PRT
025	25	25	086	85	+	146	43	RCL
026	65	X	087	01	1	147	24	24
027	53	(088	00	0	148	99	PRT
028	01	1	089	95	=	149	43	RCL
029	75	-	090	59	INT	150	27	27
030	43	RCL	091	87	IFF	151	99	PRT
031	24	24	092	02	02	152	79	X
032	54)	093	01	01	153	99	PRT
033	95	=	094	21	21	154	22	INV
034	36	PGM	095	32	X↑T	155	79	X
035	15	15	096	06	6	156	99	PRT
036	11	A	097	22	INV	157	43	RCL
037	43	RCL	098	77	GE	158	03	03
038	26	26	099	01	01	159	99	PRT
039	36	PGM	100	20	20	160	43	RCL
040	15	15	101	69	DP	161	21	21
041	12	B	102	00	00	162	42	STD
042	36	PGM	103	03	3	163	01	01
043	15	15	104	06	6	164	43	RCL
044	18	C'	105	01	1	165	22	22
045	65	X	106	07	7	166	42	STD
046	43	RCL	107	01	1	167	02	02
047	24	24	108	05	5	168	43	RCL
048	95	=	109	01	1	169	23	23
049	42	STD	110	03	3	170	42	STD
050	19	19	111	00	0	171	03	03
051	36	PGM	112	00	0	172	79	X
052	15	15	113	69	DP	173	99	PRT
053	18	C'	114	01	01	174	22	INV
054	85	+	115	69	DP	175	79	X
055	43	RCL	116	05	05	176	99	PRT
056	19	19	117	61	GTO	177	43	RCL
057	95	=	118	01	01	178	03	03
058	42	STD	119	23	23	179	99	PRT
059	19	19	120	32	X↑T	180	91	R/S
060	44	SUM						

REFERÊNCIAS

- ENGER, I., 1957, Some Attempts at Predicting a Meteorological Time Series from its Past History, M. Sc. Thesis, M.I.T., Cambridge, Mass.
- FLEMING, G., 1975, *Computer Simulation Techniques in Hidrology*, Elsevier.
- GILMAN, D.L., F.J. FUGLISTER and J.M. MITCHEL, 1963, On the Power Spectrum of "Red Noise", *J. Atmos. Sci.*, 20, 182-184.
- GIRARDI, C. e L. TEIXEIRA, 1978, Prognóstico de Tempo a Longo Prazo, Relatório Técnico ECA-06/78.
- HANN, C.T., 1977, *Statistical Methods in Hidrology*, Iowa State Univ. Press, Ames.
- HAURWITZ, B., 1979, Review of "Sun, Weather and Climate", *Bull. Amer. Met. Soc.*, 60, 1344-1345.
- JONES, R.H. and J.P. KEARNS, 1976, Fortaleza, Ceará, Brasil, Rainfall, *J. Appl. Meteor.*, 15, 307-308.
- LORENZ, E.N., 1963, The Mechanics of Vaccilation, *J. Atmos. Sci.*, 20, 448-464.
- LORENZ, E.N., 1965, On the Possible Reason for Long-Period Fluctuations of the General Circulation, in *WMO Tech. Note 66*, WMO Secretariat, Geneva.
- MARKHAM, G.C., 1974, Apparent Periodicities in Rainfall at Fortaleza, CE, Brazil, *J. Appl. Meteor.* 13, 176-179.
- MODE, E.B., 1961, *Elements of Statistics*, Prentice-Hall.
- STRANG, D.M.G., 1979, Utilização dos Dados Pluviométricos de Fortaleza CE, visando Determinar Probabilidades de Anos Secos e Chuvosos, Relatório Técnico ECA-03/79.

WARD, F. and R. SHAPIRO, 1964, Meteorological Periodicities, *J. Met.*,
18, 635-656.

4. SOBRE O USO DE ANÁLISE HARMÔNICA DA PRECIPITAÇÃO DE FORTALEZA PARA PREVISÃO DE PRECIPITAÇÃO NO NORDESTE

Vernon E. Kousky

Trabalhos recentes (Girardi e Teixeira, 1978; Strang, 1979) abordaram o problema de previsão de secas para o Nordeste do Brasil usando o método de análise harmônica. Ambos os autores encontraram grandes amplitudes nos harmônicos correspondentes às periodicidades de 13 e 26 anos. Periodicidades aparentes similares foram notadas por Markham (1974). Neste último estudo, o pico de 13 anos foi considerado significativo ao nível de 99%, conclusão mais tarde refutada por Jones e Kearns (1976).

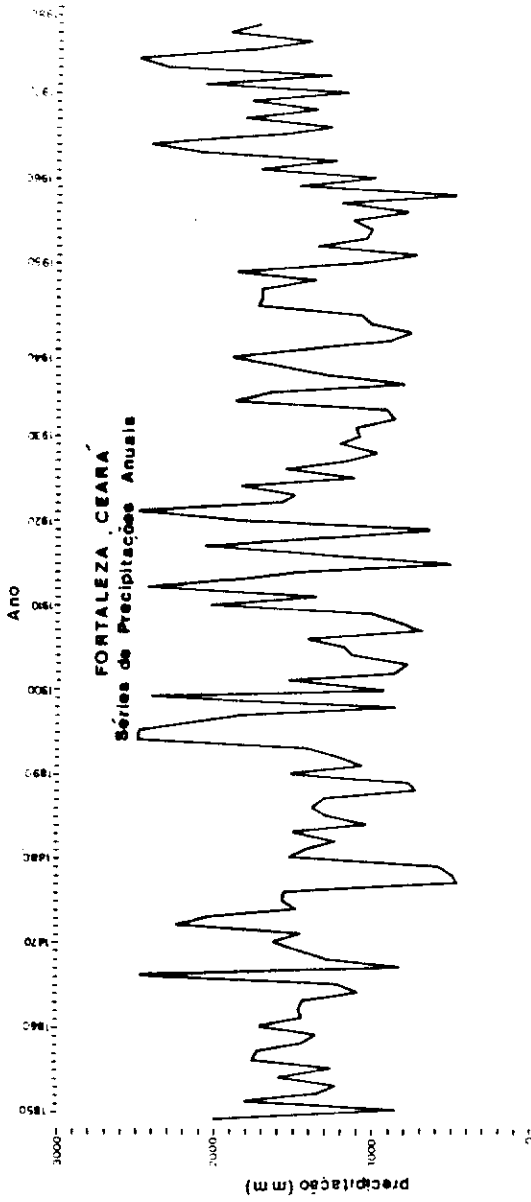
O uso de análise harmônica aplica-se bem ao caso de conhecimento a priori da existência de comportamento periódico de uma dada variável. Em outras palavras, se tivermos uma base física para admitir uma certa periodicidade, então a análise harmônica pode ser útil. O problema é que há poucas oscilações puramente periódicas na atmosfera da Terra. Panofsky e Brier (1963, p. 142), discorrendo sobre o uso de análise harmônica *para dados meteorológicos*, observam: "Em especial, podem ser encontradas grandes amplitudes acidentalmente em valores particulares de λ (frequência). Houve época em que se acreditava que isto implicasse periodicidades exatas nesta frequência; hoje em dia, reconhece-se que picos agudos individuais em séries temporais com oscilações irregulares são acidentais".

Se realmente as oscilações de 13 e 26 anos fossem periódicas, então suas amplitudes deveriam ser invariantes no tempo. Para testar esta hipótese, a série de 130 anos de totais de precipitação nos anos hidrológicos (novembro/outubro) em Fortaleza, Ceará, utilizada por Strang (1979), foi dividida em cinco períodos de 26 anos, e feita análise harmônica de cada período. Os resultados são apresentados na Fig. 1 junto com um gráfico da série temporal original. É aparente de imediato que as amplitudes do primeiro e segundo harmônicos, 26 e 13 anos respectivamente, mostram uma variabilidade considerável. Durante o período

1849-1874, não há evidência de oscilações nem de 13 nem de 26 anos. O período 1875-1900 mostra oscilações fortes de 13 e 26 anos, assim como o período 1953-1975, se bem que as grandes amplitudes durante o último período são devidas a uma tendência óbvia durante este período (Fig.1). Os períodos restantes, 1901-1926 e 1927-1952, mostram amplitudes das oscilações de 13 e 26 anos que são intermediárias entre as do período 1849-1874 e as do período 1875-1900. Claramente, as amplitudes destes harmônicos não são estacionárias no tempo.

Com exceção da oscilação diurna (relacionada com a rotação da Terra em torno de seu eixo), da oscilação anual (relacionada com a rotação da Terra em torno do Sol), e da oscilação de 26.800 anos (relacionada com a precessão do eixo da Terra), não existem movimentos periódicos conhecidos na atmosfera da Terra. As séries temporais meteorológicas podem mostrar outras periodicidades significativas em certos intervalos de tempo. Entretanto, estes geralmente aparecem e desaparecem à medida em que se adicionam mais dados à amostra ou se se analisam diferentes intervalos de tempo. Um exemplo de tal comportamento transitório de periodicidades aparentes é notado na oscilação bienal (2 anos) na série de precipitação de Fortaleza. Durante o período 1953-1978, pode-se facilmente observar na Fig. 1 uma forte oscilação de dois anos (bienal). A amplitude do harmônico correspondente a esta oscilação (na frequência de 0,5 ciclos/ano) é também muito grande. Entretanto, nota-se que para o período imediatamente precedente, 1953-1978, não há evidência de oscilação de dois anos. Pode-se concluir que, só porque existe uma periodicidade aparente em uma certa amostra de dados, não há garantia de que a periodicidade existe antes ou existirá no futuro.

Em ambos os estudos (Girardi e Teixeira, 1978 e Strang, 1979) foi admitido, sem nenhuma prova formal, que a série de precipitação de Fortaleza é representativa de precipitação no Nordeste do Brasil. Girardi e Teixeira (loc. cit.) mostraram que há similaridade entre a série de Fortaleza e séries de outras estações no Ceará. Não foi feita nenhuma tentativa de quantificar a similaridade ou de estender a análise para incluir outros estados no Nordeste. Vários estudos (por exemplo Strang, 1972; Kousky, 1979) mostraram que há uma variabilidade con



Fortaleza, Ceará

Análise Harmônica para cinco períodos de 26 anos

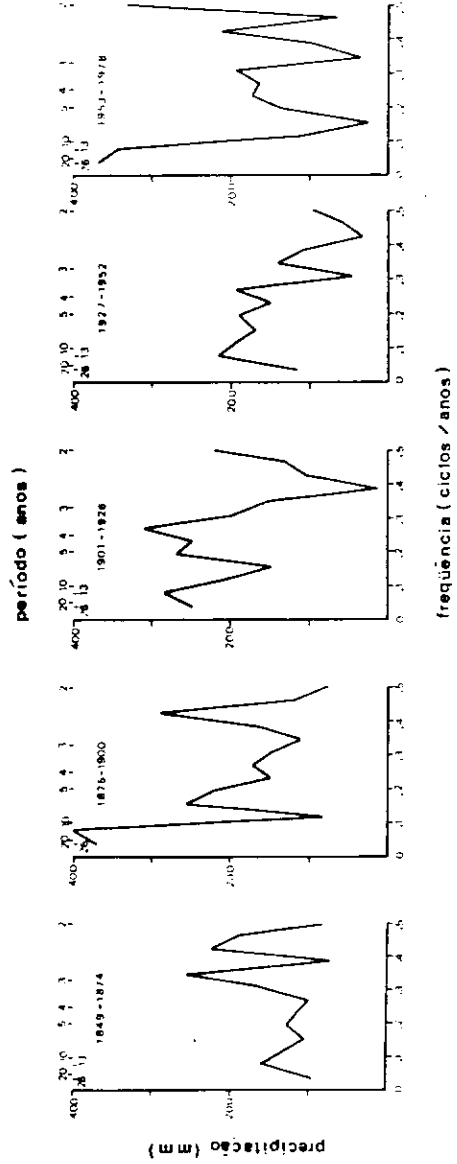


Fig. 1 - Série de Precipitação em Fortaleza, e Análise Harmônica por Período.

siderável nos meses de máxima precipitação de uma parte do Nordeste para outra. Várias causas físicas têm sido citadas na literatura, para explicar esta variabilidade (por exemplo, Hastenrath e Heller, 1977; Yamazaki e Rao, 1977; Kousky, 1979; Kousky, 1980).

Para verificar até que ponto Fortaleza é representativa da precipitação para a região Nordeste, os totais de precipitação para os anos hidrológicos (setembro/agosto) foram calculados em várias estações e então correlacionados com Fortaleza. O ano hidrológico (setembro/agosto) foi escolhido já que este período inclui os meses mais chuvosos de todo o Nordeste. As porcentagens das variâncias da precipitação em cada estação explicadas pela correlação com a série de Fortaleza são ilustradas na Fig. 2. A maioria dos coeficientes de correlação são significativos. Entretanto, a percentagem de variância explicada pela série de precipitação de Fortaleza é bastante pequena do sul do Ceará para o Sul.

Se a série de precipitação de Fortaleza pudesse ser perfeitamente prevista, então 16% da variância em Campos Sales, no sul do Ceará poderiam ser então previstos. Isto deixaria 84% da variância inexplicada. No norte da Bahia, a variância explicada cai para 5-10%. Mesmo para estações no norte do Ceará, cerca de 50% da variância não é explicada pela série de Fortaleza. Claramente a natureza convectiva da precipitação bem como as várias causas dinâmicas da precipitação no Nordeste do Brasil, como a posição latitudinal da zona de convergência intertropical (Hastenrath e Heller, 1977), a propagação de nuvens (Yamazaki e Rao, 1977; Ramos, 1975), zonas frontais do Hemisférico Sul, e seus restos (Kousky, 1979) e sistemas de circulação de ventos locais (Kousky, 1980) resultam em uma correlação reduzida entre regiões do Nordeste. Portanto, mesmo se a série de precipitação em Fortaleza pudesse ser prevista perfeitamente, isto teria uma aplicação bastante limitada (norte do Ceará).

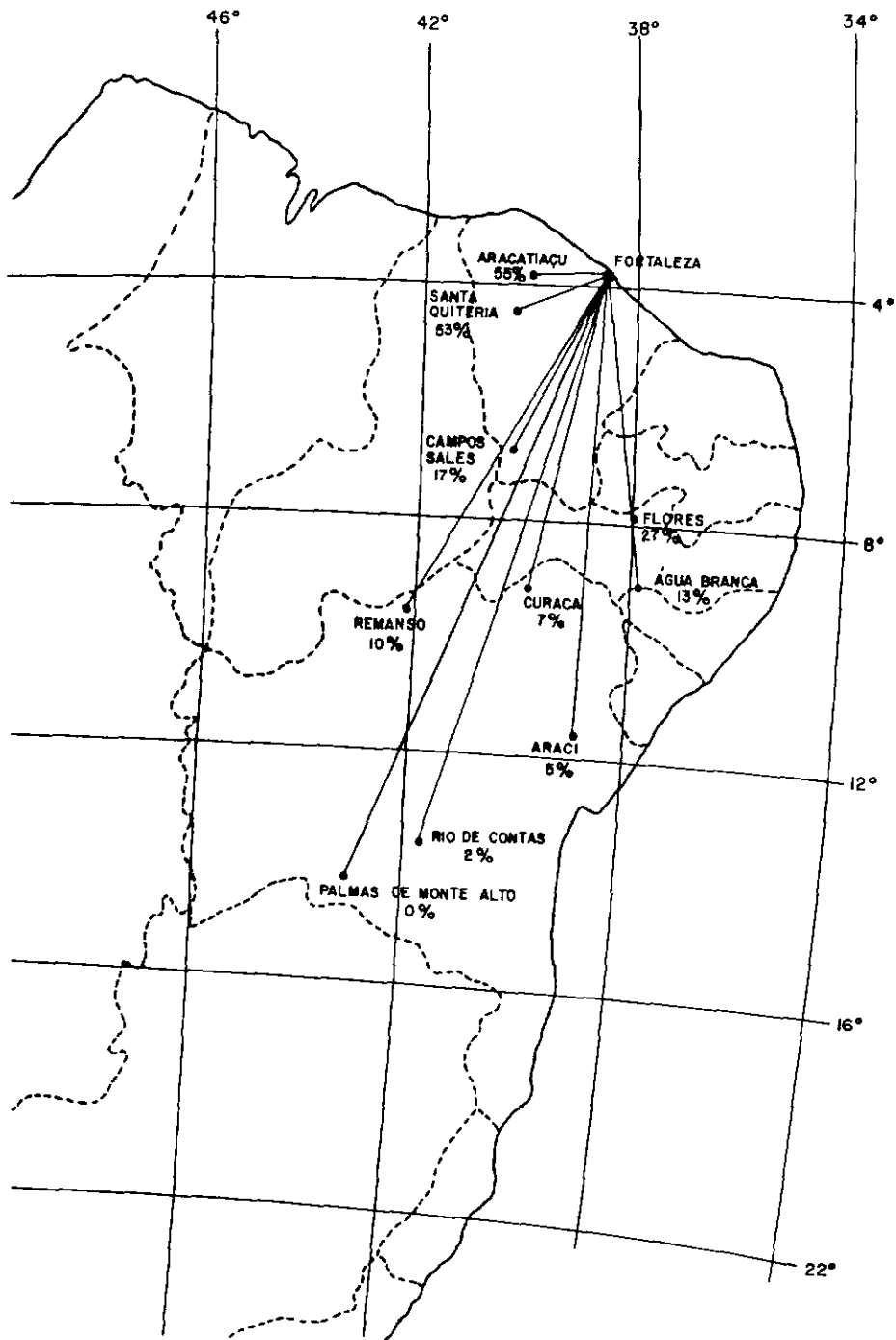


Fig. 2 - Porcentagem da Variância da Precipitação em várias Estações do Nordeste, Explicada pela Correlação com a Precipitação em Fortaleza.

Uma outra maneira de enfocar o problema da representatividade da precipitação de Fortaleza para todo o Nordeste pode ser obtida pela análise harmônica da média de precipitação para toda a região. Hastenrath e Heller (1977) calcularam uma série de pouco mais de 60 anos para 40 estações no Nordeste. Esta série é normalizada, ou seja, foi feita a média, para todas as estações, dos desvios da precipitação anual em relação à média de cada estação, divididos por seu próprio desvio padrão. Esta série foi submetida a análise harmônica, ou seja o mesmo método usado por Girardi e Teixeira (1978); os resultados são apresentados na Figura 3, em escala idêntica à usada por estes autores.

Pode-se notar que o pico correspondente a 26 anos desaparece. O harmônico maior tem período de 5,6 anos, seguido de outro com máximo em 12,4 anos, com amplitude menor do que a metade da amplitude do pico de 13 anos encontrado por Markhan (1974) e Girardi e Teixeira (1978). Os picos encontrados aqui também não são significativos.

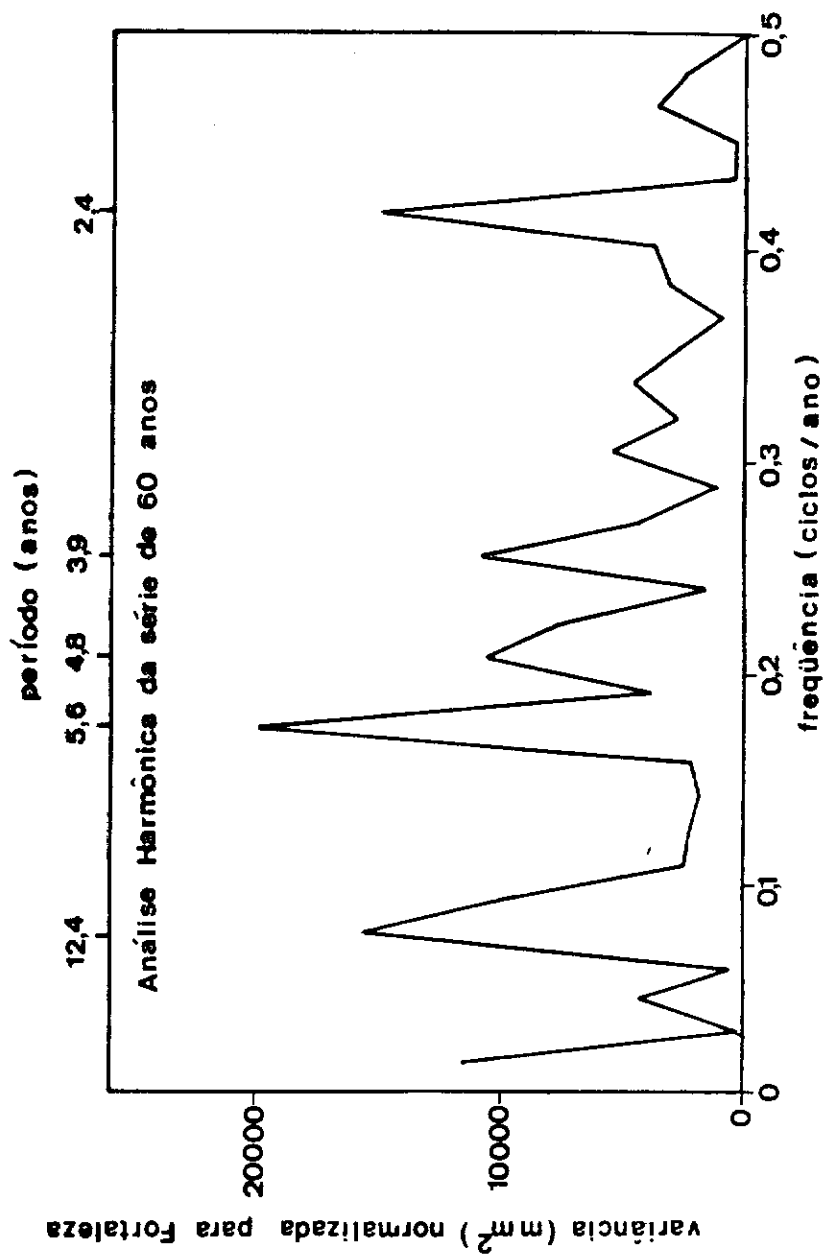


Fig. 3 - Análise harmônica da série de 60 anos de precipitação média em 40 estações do Nordeste (hastenrath e Heller, 1977).

REFERÊNCIAS

- GIRAPDI, C.; TEIXEIRA, L., 1978: Prognóstico do Tempo a longo prazo. Relatório Técnico. ECA-06/78 CTA/IAE. São José dos Campos, SP.
- HASTENRATH, S.; HELLER, L., 1977: Dynamics of Climate Hazards in Northeast Brazil. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 103, 77-92.
- JONES, R.H.; KEARNS, J.P., 1976: Fortaleza, Ceará, Brazil and rain fall. *J. Appl. Meteor.*, 15, 307-308.
- KOUSKY, V.E., 1979: Frontal influences on Northeast Brazil. *Mon. Wea. Rev.* 107, 1140-1153.
- : 1980: Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. *Mon. Wea. Rev.* 108. In press.
- MARKHAM, C.C., 1974: Apparent periodicities in rainfall at Fortaleza, Ceará, Brasil. *J. Appl. Meteor.*, 13, 176-179.
- PANOFSKY, H.A.; BRIER G.W., 1963: *Some applications of statistics to Meteorology*. The Pennsylvania State University.
- RAMOS, R.P.L., 1975: Precipitation characteristics in the Northeast Brazil dry region. *J. Geophys. Res.*, 80, 1665-1678.
- STRANG, D.M.D., 1979: Utilização dos dados pluviométricos de Fortaleza CE, visando determinar probabilidades de anos secos e chuvosos. Relatório Técnico ECA-03/79. CTA/IAE. São José dos Campos, SP.
- YAMAZAKI, Y.; RAO, V.B., 1977: Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 55, 205-207.

5. SOBRE A PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE SETE ANOS DE SECAS NO NORDESTE

Luiz Gylvan Meira Filho

A divulgação pela imprensa do relatório de Girardi e Teixeira (1978) tem resultado na impressão generalizada de que o Nordeste do Brasil tem grande probabilidade de sofrer sete anos de secas, nos anos 1979-1985, com maior probabilidade ainda nos anos 1981-1983.

Esta impressão é aparentemente devida às citações (Girardi e Teixeira, 1978, p. 17):

"Durante esses estudos, confrontamo-nos com uma situação física típica, de períodos de seca, que já ocorreu várias vezes no passado e cuja probabilidade de repetição nos próximos anos é muito grande".

...

"No entanto, dada a importância de que se reveste a delimitação de um período de seca na vasta região do Nordeste, cumpre-nos divulgar com antecedência estes estudos preliminares, diante da ameaça que paira sobre esta vasta região".

Estas afirmativas resultaram nas seguintes colocações, extraídas do noticiário "Jornal Nacional" da Rede Globo de Televisão, em 20 de maio de 1980, e que tiveram ampla divulgação na imprensa escrita e falada:

"Repórter: ... O Nordeste estará vivendo de 79 até 85 o maior período de secas nos últimos 26 anos. O período mais crítico ainda estará por vir, será de 1981 a 1983 ... O Prof. Carlos Girardi, um dos autores do trabalho, não tem dúvidas de que o Nordeste vai enfrentar nos próximos anos uma das maiores secas da história, mesmo que ocorram chuvas esporádicas na região.

Girardi: "Todos os anos vão ser secos, qual vai ser o melhor e qual vai ser o pior nós não sabemos com certeza".

Repórter; "Se situaria entre 81 e 83 este ciclo mais crítico?".

Girardi: " Eu acho que 81 e 83 serão os piores anos para o Nordeste porque existe nesse período uma possibilidade de dois anos consecutivos de seca extrema".

As declarações foram ainda repetidas recentemente, como por exemplo, no jornal "O Estado de São Paulo", 11 de junho de 1980: "... o ciclo das secas para o Nordeste vai prolongar-se até 1985, com seu agravamento em 1981 ...".

Vejamos até que ponto a expectativa de sete anos de secas no Nordeste corresponde à informação contida nos dados existentes.

A probabilidade de ocorrência de seca em um ano qualquer no Nordeste é de 17,9%, baseado na ocorrência de 45 anos de secas em um período de 251 anos (1700 - 1950) (Guerra) como mostrado na Figura 1 onde também aparecem os dados de outros autores, que não diferem significativamente dos utilizados.

Assim, a melhor estimativa de ocorrência de um número N de anos consecutivos dentro de um período de 7 anos, bem como a probabilidade de ocorrência de pelo menos N anos consecutivos de secas é dada na Tabela 1, como calculado aproximadamente pela distribuição binomial:

$$P(N) = \frac{7!}{N! (7 - N)!} p^N (1 - p)^{7 - N}$$

onde

N = número de anos consecutivos de secas

p = 0,179

Registro de Ocorrência de Sêcas no Nordeste do Brasil

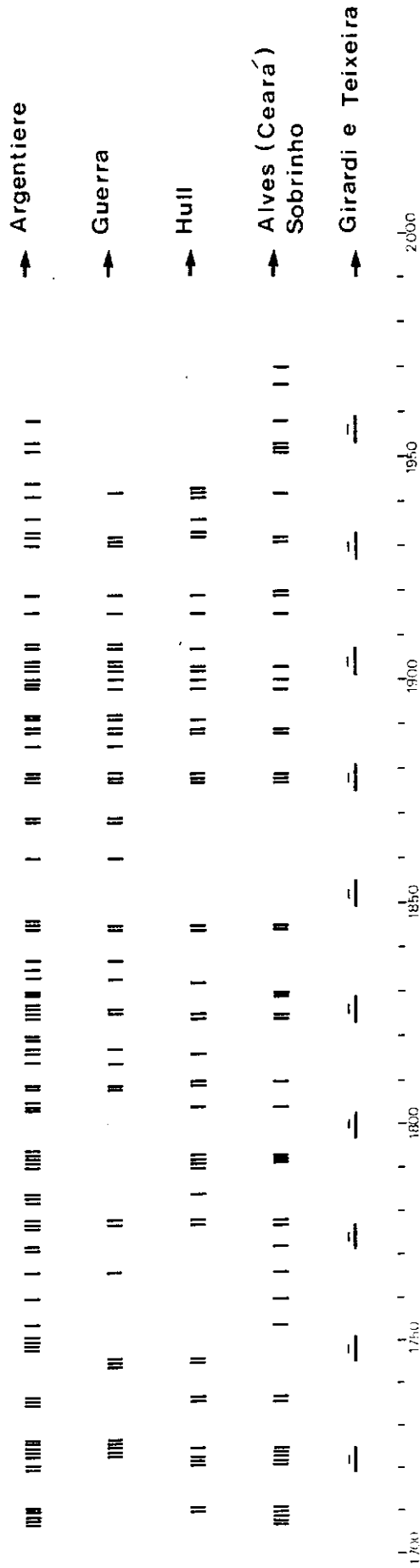


Fig. 1 - Ocorrências de Seca no Nordeste (FUNCEME, 1974).

TABELA 1

Probabilidade de ocorrência de N anos de secas e de pelo menos N anos de secas em 7 anos.

N	PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE	
	N ANOS DE SECAS	PELO MENOS N ANOS DE SECAS
0	25%	100%
1	38%	75%
2	25%	37%
3	9,1%	12%
4	2,0%	2,4%
5	0,26%	0,28%
6	0,010%	0,019%
7	0,00059%	0,00059%

Ou, visto de outra maneira, há somente uma chance em 170.000 de que ocorram 7 anos consecutivos de secas.

Isto pode ainda ser visualizado pela distribuição dos períodos de secas segundo Guerra (loc. cit.), mostrada na Figura 2, onde aparecem os períodos de secas já observados. Nota-se que só há registro de um período de cinco anos de secas, nenhum de seis anos e muito menos de sete anos.

A previsão feita por Girardi e Teixeira (1978) é baseada em análise espectral feita originalmente por Markham (1974). A significância da periodicidade aparente (como este último autor fez questão de frisar) encontrada na série de precipitação de Fortaleza, e dada como significativa ao nível de 99%, foi contestada na literatura por Jones e Kearns (1976), que demonstraram que Markham havia cometido um engano na aplicação dos testes estatísticos de significância. Aqueles autores reanalisaram os dados e encontraram que "A hipótese de que a

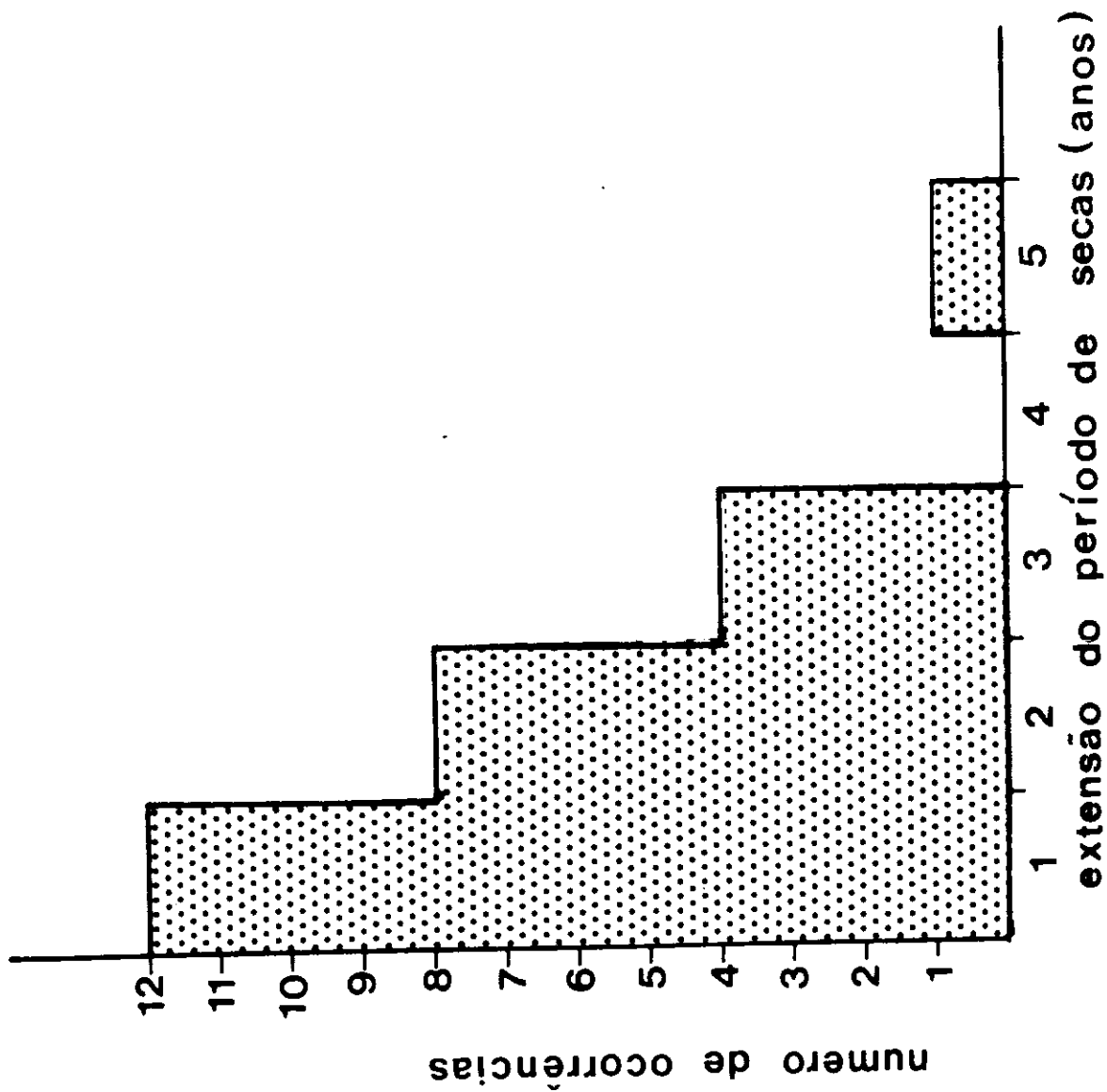


Fig. 2 - Histograma da Ocorrência de Sêcas em Anos Consecutivos

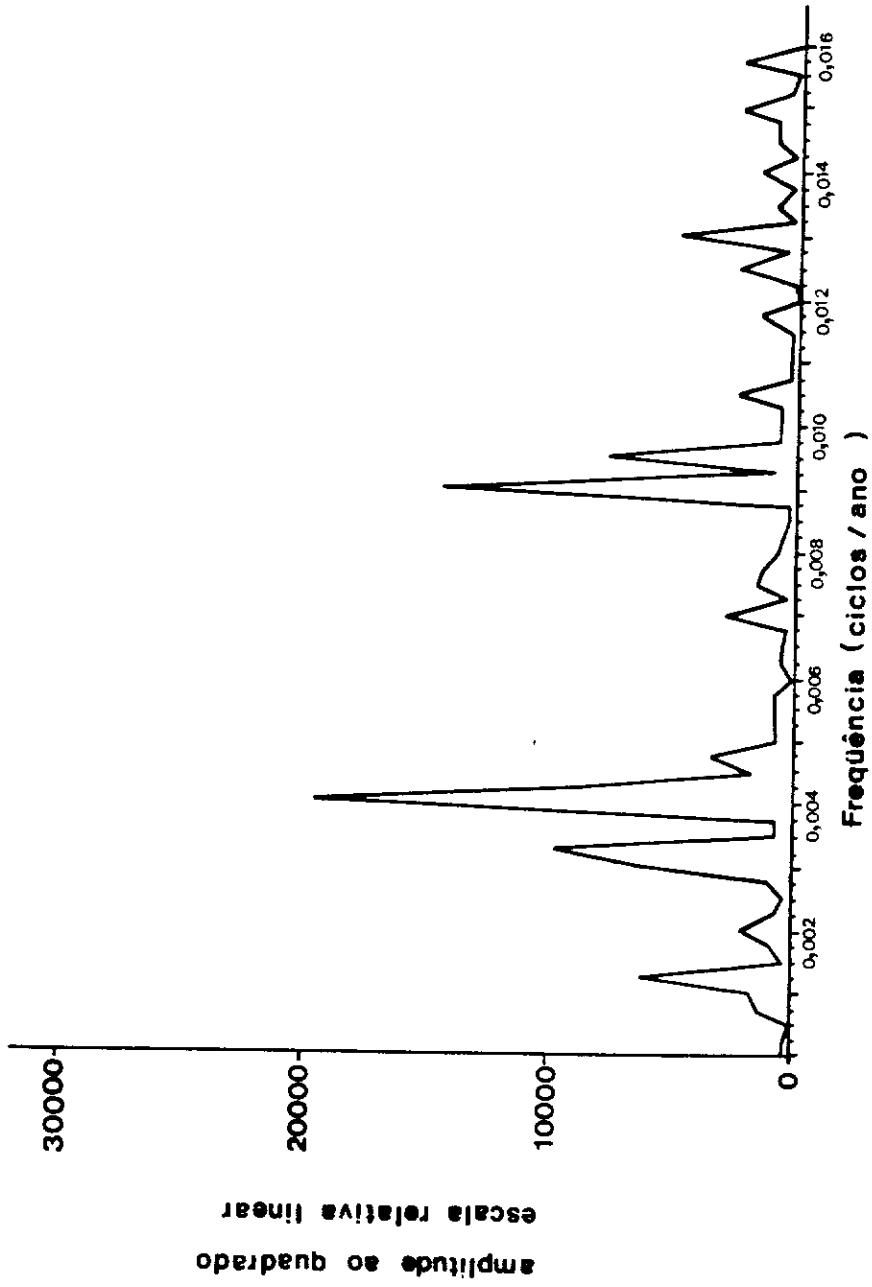


Fig. 3 - Espectro de Série de Precipitação Aleatória.

série de precipitação de Fortaleza seja constituída de dados aleatórios não correlacionados não pode ser rejeitada ao nível de 10%, o que significa que de cada dez séries sabidamente aleatórias, e que podem ser geradas com facilidade por computador, deve-se encontrar uma em média que contém periodicidade aparente com pelo menos a amplitude das existentes na série de Fortaleza, como demonstrado por Srivatsangam, neste relatório.

A Figura 3 mostra um exemplo de análise espectral de uma série aleatória com média de 1427 mm, desvio padrão de 480 mm e coeficiente da correlação defasado de ordem 1 de 0,246, como a série de Fortaleza, em processo puramente Markoviano.

Pode-se notar periodicidade com amplitude maior do que a da série de Fortaleza.

Em adição ao problema de saber se as periodicidades aparentes são significativas ou resultado do acaso, há ainda o aspecto de se elas persistirão no futuro, fora de intervalo para o qual foram determinadas, na ausência de explicação física independente, Girardi e Teixeira aventam a hipótese de que as periodicidades de 13 e 26 anos sejam devidas ao batimento com a oscilação quase bienal da estratosfera equatorial, com ondas descendo da estratosfera nesta frequência. Ora, como 13 anos é o menor número inteiro de anos que corresponde a um múltiplo de 26 meses isto explicaria a periodicidade. Ocorre que, embora graficamente esta oscilação pareça descer da estratosfera, trata-se de impressão errônea causada pela diferença entre velocidade de fase e velocidade de grupo. As ondas de gravidade interna de atmosfera, cujo batimento com a oscilação semi-anual da estratosfera, provocam a oscilação quase-bienal, têm uma característica curiosa, a velocidade de grupo na vertical é no sentido oposto à velocidade de fase. Ora, a velocidade de grupo é que corresponde à transmissão de informação, ou de energia. Assim, embora graficamente a oscilação quase-bienal aparente descer na atmosfera, na realidade ela está subindo. Assim, as regiões baixas da atmosfera, são causa e não efeito destas ondas. A periodicidade de 26 meses aparece mais acima, pela interação com a

oscilação semi-anual. Este fato é conhecido na literatura já há algum tempo (Lindzen e Holton, 1968; Holton and Lidzen, 1972).

O trabalho de Kousky, neste relatório, exemplifica bem o problema do caráter transitório de periodicidades aparentes.

Em resumo, há dúvidas sérias quanto à significância das periodicidades encontradas na série de Fortaleza. Não há nenhuma evidência de que estas periodicidades, mesmo existindo na série de 130 anos utilizada, devam persistir no futuro. Se, ainda assim, admitirmos que as periodicidades de secas existem, e se admitirmos que persistirão no futuro, a partir destas hipóteses obteremos os resultados descritos a seguir.

A análise harmônica da série de 130 anos de precipitação em Fortaleza revela que a componente periódica de 26 anos tem amplitude de 206 mm e fase de 255° , e a de 13 anos amplitude de 259 mm e fase de 250° , com variâncias explicadas de 9 a 14% respectivamente, totalizando 23%.

A aceitação das periodicidades significa que da variância total da precipitação em Fortaleza, estimada como de $(482 \text{ mm})^2$, as porcentagens acima são devidas às periodicidades, restando ainda uma variância não explicada, e portanto aleatória, de $(423 \text{ mm})^2$. Admitindo como limiar para a definição da seca o nível de 985 mm, o nível abaixo do qual ocorre precipitação em 17,9% dos anos, pode-se utilizar a extrapolação feita por Girardi e Teixeira para calcular a probabilidade de sete anos de secas de 1979 e 1985. O resultado é que a probabilidade de que não ocorram sete anos de secas é de 99,94%.

Para o resto do Nordeste então, dificilmente vale a pena calcular os números. Kousky, em outro trabalho neste relatório, apresenta a porcentagem da variância da precipitação em várias estações explicada pela correlação com a precipitação de Fortaleza. O maior número encontrado é de 0,55, o que significa que 55% da variância da precipita

ção nesta estação, Aracatiçu (CE), é explicada pela correlação com Fortaleza. Ora, nestas condições, apenas 12% da variância seriam explicadas pela periodicidade aparente de Fortaleza.

Este aspecto é demonstrado nas Figuras 4, 5 e 6 que mostram o espectro suavizado para as estações de Fortaleza, Aracatiçu e Pereiro, respectivamente, notando-se que são completamente distintas (ver também Kousky e Chu, 1978, onde são apresentados 36 espectros).

Estes dados, a nosso ver, dificilmente justificam a afirmativa de que o Nordeste passará por sete anos de secas. É verdade, isto sim, que a variabilidade climática no Nordeste é grande, tanto temporal como espacialmente. Assim, se estivermos dispostos a encontrar secas em algum lugar em qualquer ano, ou mesmo uma má distribuição de chuvas durante o ano, isto será sempre possível.

Cabe aqui um comentário adicional.

Segundo Yevjevich, 1979, em extensa revisão sobre este tipo de previsão, a situação do conhecimento pode ser resumida da seguinte forma:

"Métodos de Previsão Baseados na Análise das Séries Temporais"

Alguns métodos para previsões a longo prazo são baseados em séries temporais de observações no passado. Um desses métodos utiliza as séries de Fourier para a análise das séries temporais disponíveis das variáveis meteorológicas e hidrológicas. Estas séries são decompostas em periodicidades singulares geralmente chamadas "periodicidades escondidas" porque não existem para elas explicações físicas confiáveis, nem foram encontradas as causas dessas periodicidades. As ordenadas dos periodogramas ou gráficos espectrais, as quais mostram alguns valores maiores do que a média dos valores espectrais achatados, são, neste método, inferidas como periodicidades escondidas. Extrapolando-se para o futuro, as periodicidades escondidas identificadas com amplitudes relativamente maiores, a série recomposta resultará em uma série de previsão aproximadamente periódica por causa da incomensurabilidade

7. PERIODICIDADES PLURI-ANUAIS,

NA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E PREVISÕES A LONGO PRAZO

Terezinha de Ma. Bezerra S. Xavier

A previsão a longo prazo de secas na Região Nordeste do Brasil é questão que tem sido encaminhada, por alguns pesquisadores, no sentido da identificação de anos secos futuros com base na observação de periodicidades pluri-anuais, inclusive sendo aventada certa relação com a atividade solar, na maioria dos casos.

Referência que parece ser cronologicamente a mais antiga a propósito de possível correlação entre manchas solares e secas, é aquela devida a Derby (1885) [e que se encontra citada na tese de Markham (1967)].

Por sua vez, em "Os Sertões", Euclides da Cunha (1901/1979) atribuiu ao Barão de Capanema (*) a primazia de tal idéia sobre um relacionamento entre mínimos de manchas solares, no contexto do clássico ciclo de onze anos, e o fastígio das secas nordestinas. É bem verdade que Euclides da Cunha finda por não acatar o exclusivismo de tal teoria, apesar de "sua forma atraentíssima", sendo então conduzido à consideração de outras possíveis causas supervenientes. Porém é taxativo, diga-se de passagem, acerca da existência de ciclos para as secas nordestinas, quando chega a afirmar: "De fato, os seus ciclos - porque o são no rigorismo técnico do termo - abrem-se e encerram-se com um ritmo tão notável que recordam o desdobramento de uma lei natural, ainda ignorada".

(*) Consequimos detectar um trabalho de Capanema (1878), referente a secas no Estado do Ceará, mas não tivemos acesso ao mesmo [Cf. INPE-CNPq (1980)].

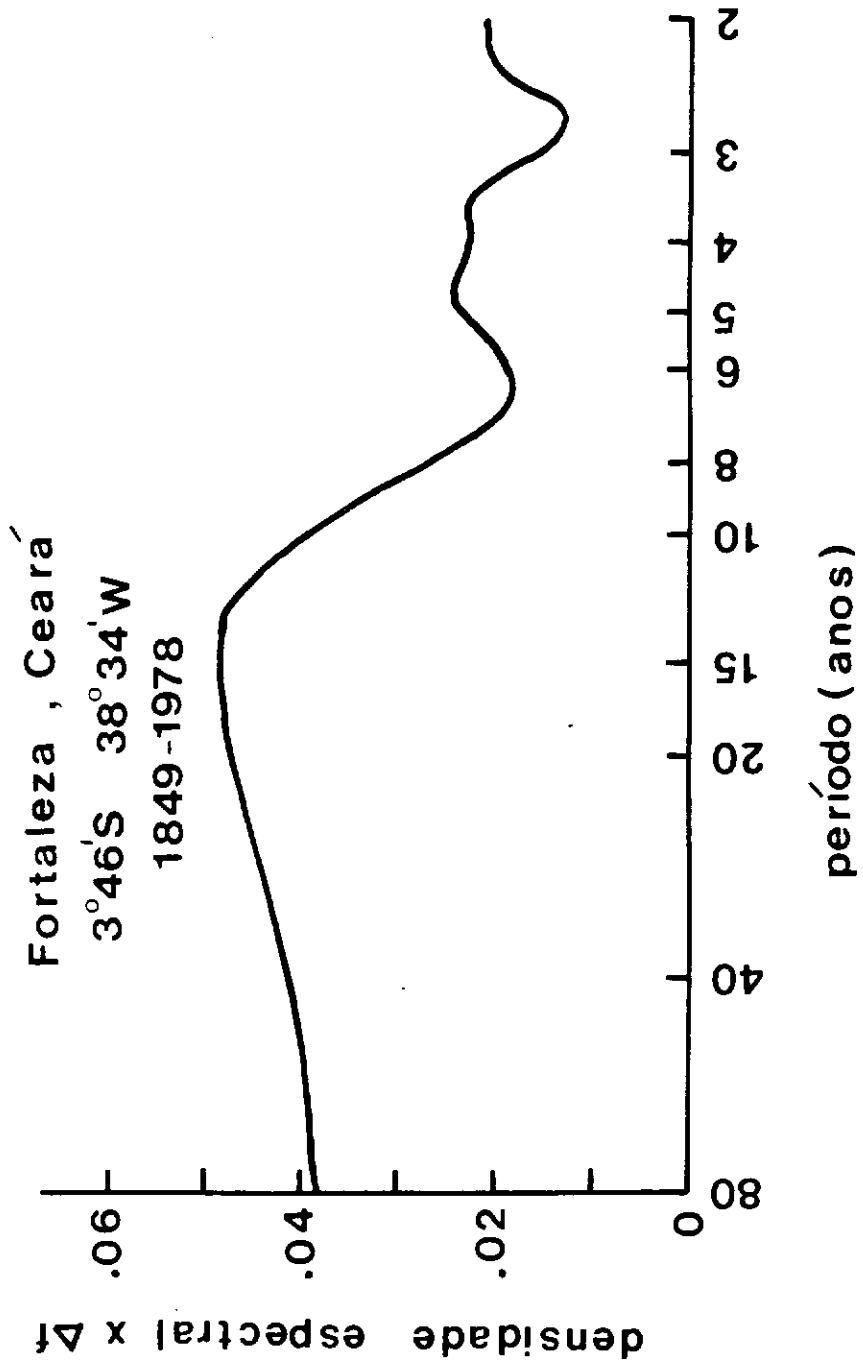


Fig. 4 - Análise Espectral da Precipitação em Fortaleza (Kousky, 1980).

Aracatiagu , Ceará
3°53'S 40°2'W
1911 - 1961

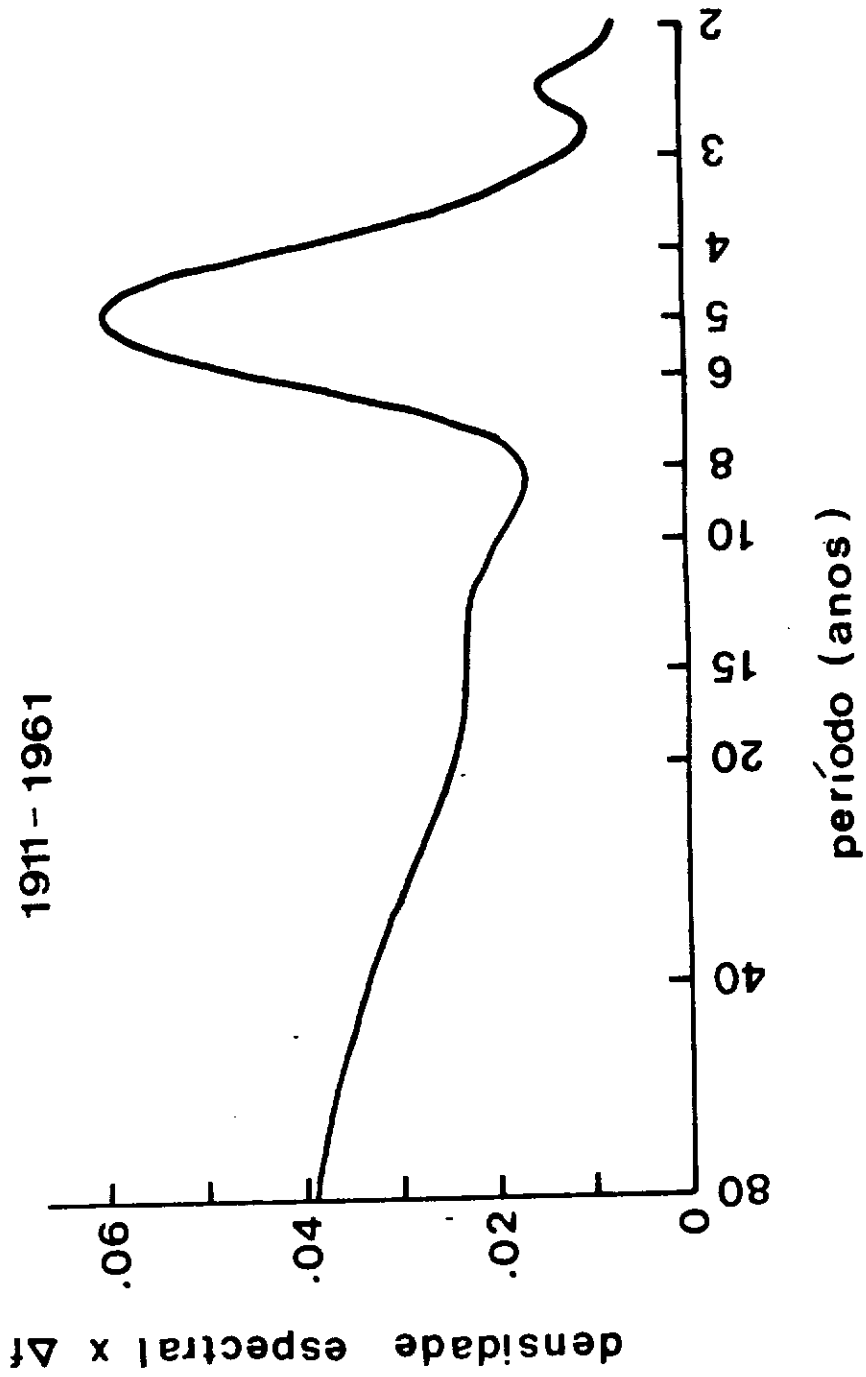


Fig. 5 - Análise Espectral da Precipitação em Aracatiagu (Kousky e Chu, 1978).

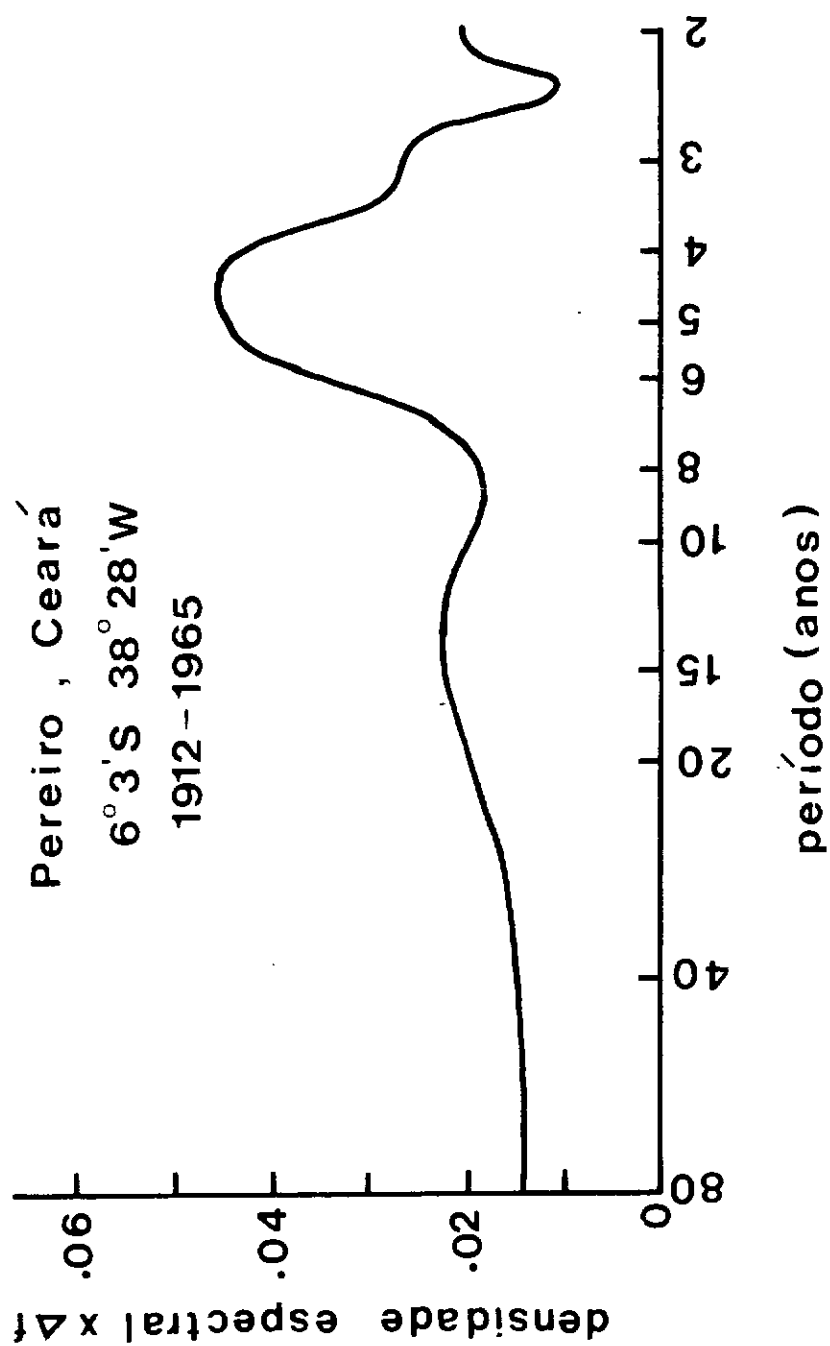


Fig. 6 - Análise Espectral da Precipitação em Pereiro. (Kousky e Chu, 1978).

das frequências dessas densidades espectrais. Esta aproximação de periodicidades escondidas tem sido muito do feitio de muitos geofísicos, quer antes da Primeira Guerra Mundial como entre as duas Guerras Mundiais, e continua ainda a ser utilizada esporadicamente. Entretanto, parece ter sido uma das mais espetaculares falhas históricas na elaboração de previsões a longo-prazo de variáveis climáticas em geral, e de variáveis de secas, em particular.

Os problemas básicos de precipitação anual, escoamento anual, e outras variáveis que definem as secas, são, ou processos estocásticos independentes (...), ou processos estocásticos dependentes(...). Portanto, a aproximação de que, tanto um processo estocástico independente como um dependente, poderão ser decompostos em periodicidades escondidas ou amplitudes significativas e depois recompostos para fins de previsão, deve ter falhado, pelo menos em virtude dos princípios e análises válidos da teoria das probabilidades, processos estocásticos e estatística matemática".

REFERÊNCIAS

- FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Chuvas Artificiais, Ofício nº 140/74, ao Diretor do INPE
- GIRARDI, C.; TEIXEIRA, L.; 1978: Prognóstico do tempo a longo-prazo. *Relatório Técnico ECA-06/80*. CTA/IAE
- GUERRA, F.: Secas do Nordeste.
- HOLTON, J.R.; LINDZEN, R.S.; 1972: An updated theory for the quasi-biennial cycle of the tropical stratosphere. *J. Atmos. Sci.*, 29, 1076-1080
- JONES, R.H.; KEARNS, J.P.; 1976: Fortaleza, Ceará, Brazil Rainfall. *J. Appl. Meteor.*, vol. 15, 307-308.
- KOUSKY, V.E.; CHU, P.S.; 1978: Fluctuations in Annual Rainfall for Northeast Brasil. *J. Met. Soc. of Japan*, vol. 56, nº 5.
- LINDZEN, R.S.; HOLTON, J. R.; 1968: A theory of the quasi-biennial oscillation. *J. Atmos. Sci.*, 25, 1095-1107.
- MARKHAM, C.G.; 1974: Apparent Periodicities in Rainfall at Fortaleza, Ceará Brasil. *J. Appl. Meteor.*, vol. 13, 176-179.
- YEVJEVICH, V. 1979: Viabilidade de previsão de secas a longo-prazo. *Trabalho apresentado no Seminário Argentino-Estudenidense sobre secas*, Mar del Plata.

6. PREVISÃO DA SÉRIE DE PRECIPITAÇÃO DE CHUVAS DE FORTALEZA PELO MÉTODO DA MÁXIMA ENTROPIA DE BURG

Ivan J. Kantor

Utilizando-se um processo auto-regressivo para previsão, cujos coeficientes foram calculados pelo método da máxima entropia de Burg (Kantor e Trivedi, 1977), analisou-se a série de precipitação de chuvas anual de Fortaleza, de 1849 a 1978.

Para teste foram utilizados sucessivamente dados de 1849-1918, 1849-1948 e 1849-1978 (Figuras 1, 2 e 3). Nas Figuras 1 e 2 correspondentes às previsões para 1849-1918 e 1849-1948 é possível comparar os dados previstos com os observados nos anos seguintes. Observe que a previsão acompanha na média os dados observados. Porém, os mínimos observados (por exemplo na Figura 2 em 1958) não são fielmente reproduzidos pela previsão, pois existe um erro inerente à previsão. O valor do erro de previsão um ponto adiante está representado nas Figuras por σ .

Na Figura 3 ocorrem dois mínimos pronunciados, 1980 e 1983, porém como já foi observado isto não representa necessariamente um mínimo que será observado (não necessariamente haverá seca neste ano).

Foi observado nos cálculos que o erro residual é grande comparado com a variância dos dados. Ou seja, a série de precipitação de Fortaleza não é muito previsível e o erro de previsão não permite muita confiabilidade dos resultados.

Foram utilizados nos cálculos, filtros de previsão com número de coeficientes igual à metade do número de dados (35, 50 e 65 coeficientes).

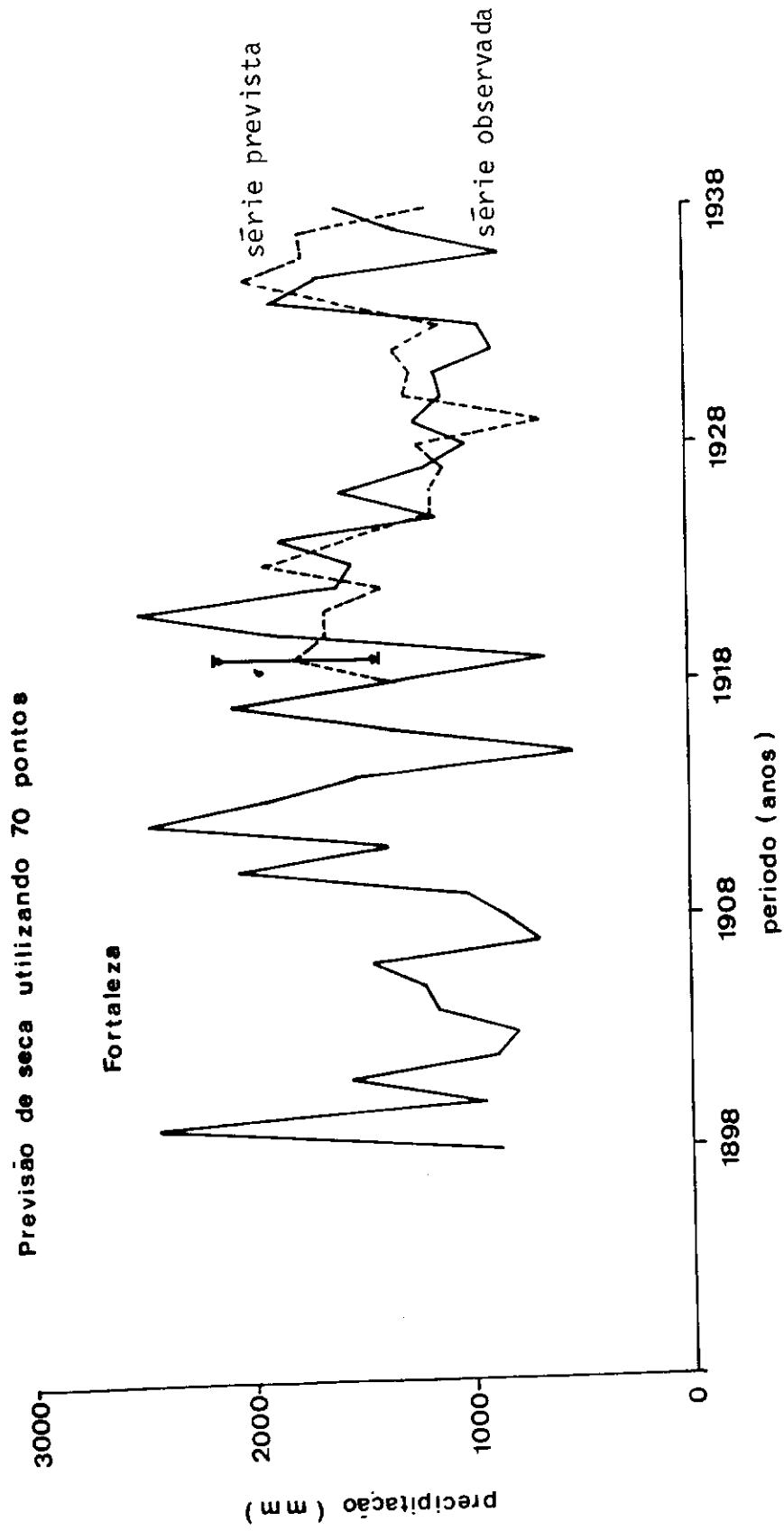


Fig. 1 - Previsão de Precipitação em Fortaleza, com os dados até 1918.

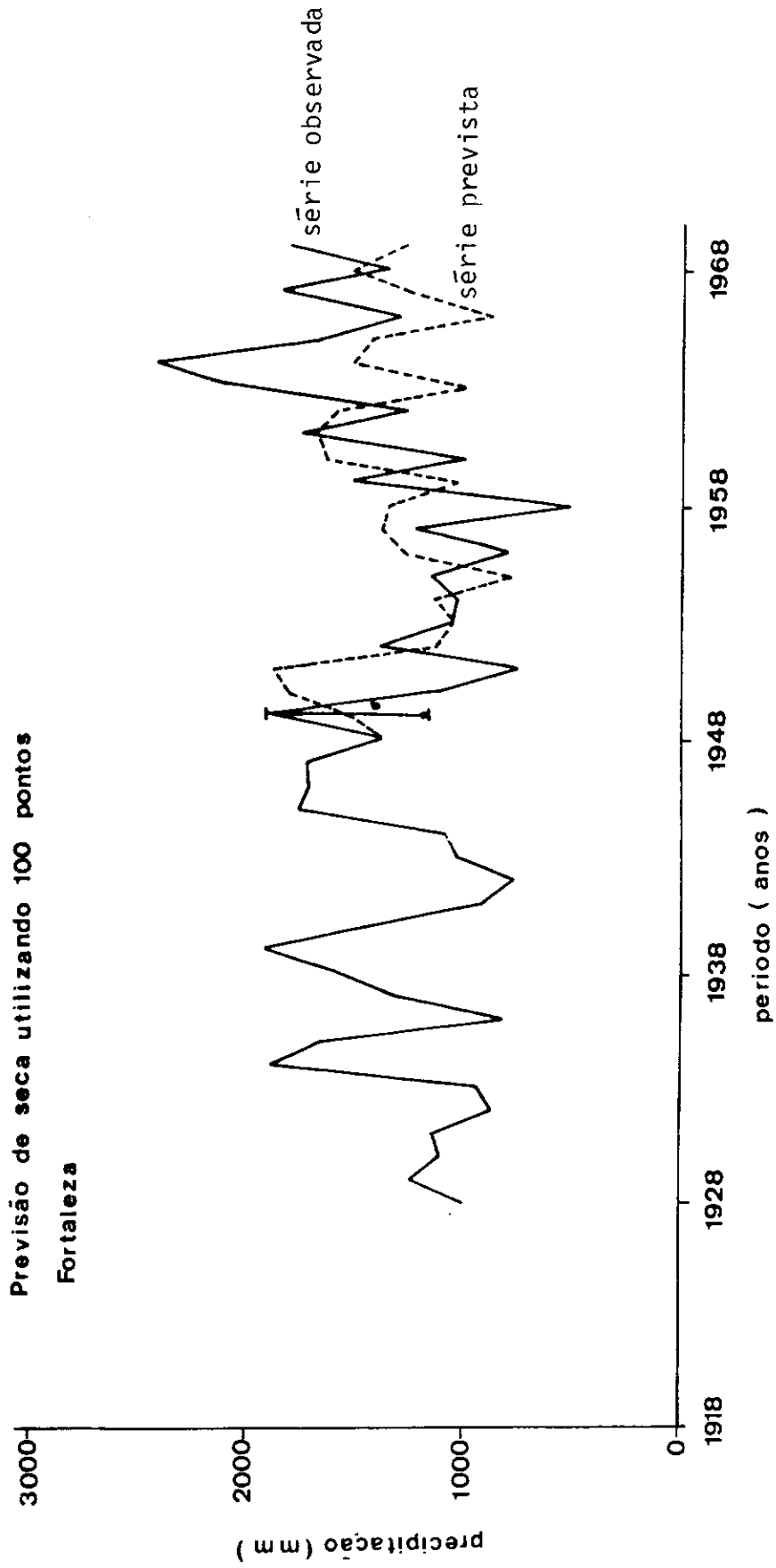


Fig. 2 - Previsão de Precipitação em Fortaleza, com os Dados até 1948.

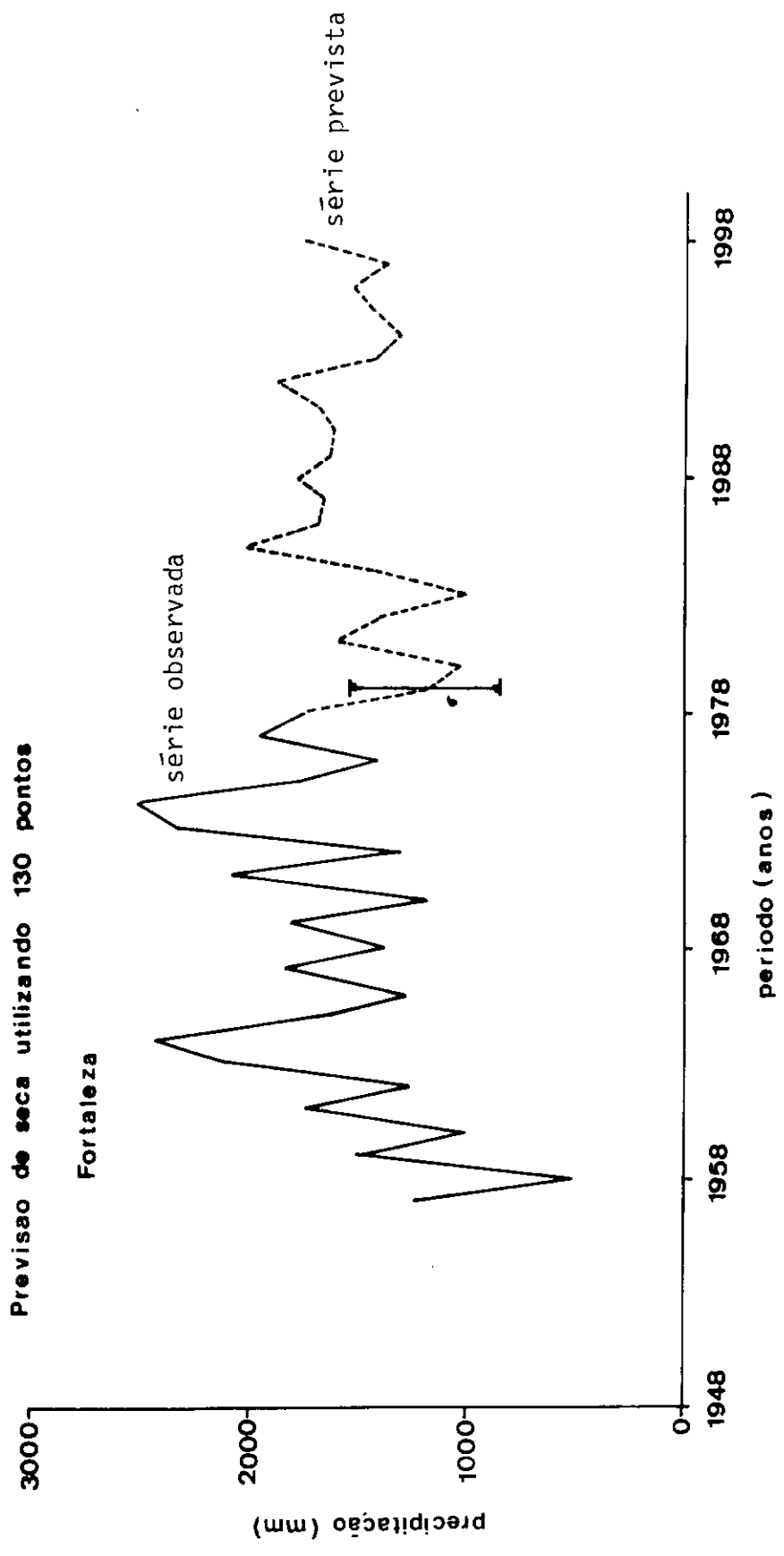


Fig. 3 - Previsão de Precipitação em Fortaleza, com os Dados até 1978.

Sem dúvida ainda merecem citação os trabalhos de Souza Brasil S9 (1909) (1922); onde, além de oscilações de 10 a 12 anos, são ainda identificadas fases com a duração de 23 a 26 anos. [cf. publicação do MINTER (1973)]. Por sua vez, esses estudos tiveram continuidade com os trabalhos de Sampaio Ferraz (1924) (1929) (1953). No primeiro deles, já concluía pela existência de correlação entre dados pluviométricos de Fortaleza e manchas solares, quando utilizados os "números de Wolf (**)".

Outras periodicidades têm contudo sido verificadas. Assim, Markham (1973), refere períodos de 13 a 26 anos, com a utilização de técnicas de autocorrelação, a partir de médias móveis calculadas para a série anual de precipitações pluviométricas em Fortaleza; reconhecendo, porém, sua incapacidade para adiantar quaisquer causas físicas para tais "aparentes periodicidades".

Utilizando análise espectral, também Rose (1977) detectou para a série da precipitação anual de Fortaleza, frequências importantes, inseridas em períodos de 2,2 a 2,4 anos, 3,5 a 4,6 anos, bem como, entre 12,8 e 16,1. Em síntese, tais resultados conflitando com a existência de um ciclo de 11 anos para a precipitação pluviométrica. Conforme o autor, esse fato não permite excluir de todo a influência solar na variabilidade das precipitações de Fortaleza. Onde, "se houver relacionamento entre as manchas solares e a precipitação (secas), tal relacionamento seria bastante complexo".

Chegamos, finalmente, aos trabalhos de Girardi & Teixeira (1968) e Strang (1979), onde se refere à existência de ciclos de 13 e de 26 anos, para a pluviometria de Fortaleza. Ora, a concordância

(**) "*Wolf sunspot number*": trata-se de índice que funciona como medida da atividade das manchas solares, tendo sido introduzido pelo Prof. R. Wolf, de Zurich, em 1849; define-se como:

$$R = K (10g + f),$$

onde K = constante que depende de cada observatório; g = número de manchas; f = número total de manchas.

entre mínimos das curvas sinusóides respectivas corresponderia a período dos secos para toda a região nordeste, configurando-se essa tendência, conforme os autores, para o período 1979/1980.

A relação intempestiva de tais sombrias perspectivas através de programa de televisão de larga audiência ("Jornal Nacional" TV Globo) teve sem dúvida grande impacto, mormente sobre as camadas sociais menos esclarecidas. É esse o motivo que agora impõe à comunidade científica a que proceda a todo um trabalho de avaliação, não apenas criterioso, mas também cercado da máxima cautela, acerca da validade ou do real significado de tais prognósticos, baseados em aparentes periodicidades da precipitação pluviométrica, na região.

Em seu artigo, já levantava Rose (1977) a questão da "inutilidade dos ciclos na previsão do tempo". Embora a não exequibilidade de uma projeção não fosse o suficiente para desencorajar-lhe "na busca da causa deste [o ritmo de 2 anos] e de outros ritmos persistentes significativos porque eles nos podem [m] fornecer importante discernimento do modo de operação da atmosfera".

Vale igualmente lembrar Bernier (1965), onde refere que através do métodos de médias móveis encontrou "ciclos artificiais" de 5 a 11 anos em dados inteiramente ao acaso (tirados de tabela de números aleatórios). Trata-se do chamado "efeito Slutsky". Esse matemático soviético provou que procedimentos de médias móveis ou de médias móveis ponderadas, aplicados a séries aleatórias, introduzem ciclos artificiais de natureza sinusóide. Portanto, métodos baseados em filtragem podem provocar periodicidades fictícias numa série. Donde Bernier concluir que as tentativas para a pesquisa de ciclos (e de mudanças climáticas seculares) parecem constituir um beco sem saída.

Finalmente, cabem reparos no que concerne à utilização da série pluviométrica secular de Fortaleza-Parangaba, com o fim de se obter projeções que sejam válidas para a região nordeste, como um todo.

REFERÊNCIAS

- DERBY, O.A., 1885: As manchas solares e as secas. *Diário Oficial*, 8 e 9 de junho/*Revista de Engenharia*, 8, 112-114.
- MARKHAM, C.G., 1967: Clima Tropical Aspects of Drought in Northeastern Brazil. *University of California, Berkeley*, Ph.D. Thesis.
- CUNHA, E. da, 1979: Os sertões. *Editor: Victor Civita* (1.^a ed., 1901, Rio de Janeiro).
- CAPANEMA, G.S. de, 1878: Notas sobre as secas no Ceará. *Rio de Janeiro*, 22pp.
- INPE-CNPq, 1980: The dry climate of northeast Brazil - A brief survey of some studies performed in Brazil (*Workshop on Drought Forecasting for Northeastern Brazil*).
- BRASIL SQ, T.P.S., 1909: O Ceará no começo do século XX. *Ref. em MINTER*, 1973.
- _____, 1922: O Ceará no centenário da independência. *Ref. em MINTER*, 1973.
- FERRAZ, J.S., 1925: Causas prováveis da ocorrência de secas no Nordeste do Brasil. *Ministério da Agricultura, Diretoria de Meteorologia*. 12 pp.
- FERRAZ, J.S., 1929: Sir Gilbert Walker's formula for Ceará's droughts: Suggestion for its physical explanation. *Meteorological Magazine*, London, 64, 81-84.
- FERRAZ, J.S., 1953: A atual seca no nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia*, 15, 162-164.

- MINTER (Ministério do Interior), BRASIL: Plano integrado para o Com
bate preventivo aos efeitos das secas no nordeste (sine Desenvolvi
mento Regional, nº 1, abril de 1973).
- MARKHAM, C.G., 1973: Apparent periodicities in rainfall at Fortaleza,
Ceará, Brazil. *J. Appl. Meteor.*, 13, 176-179.
- ROSE, N., 1977: A ocorrência de anos secos no Ceará, nordeste do Bra
sil. *Bol. Geogr.*, Rio de Janeiro, 35, 119-136.
- GIRARDI, L.A.; TEIXEIRA, L., 1978: Prognóstico de tempo a longo prazo
(Prognóstico de período de seca para o nordeste brasileiro). *CTA/
IAE, Relatório Técnico ECA nº 06/78*.
- STRANG, D.M.D., 1979: Utilização dos dados pluviométricos de Fortale
za, CE, visando determinar probabilidades de anos secos e chuvosos.
CTA/IAE, Relatório Técnico ECA nº 03/79.
- BERNIER, J., 1965: Sur les probabilités des sécheresses et des
etiages. *Bolletín du Centre de Recherches et d'Essais de Chatou*,
E.D.F., nº 11.

8. OPINIÃO SOBRE A PESQUISA ACERCA DO USO DE PARTICULAS DE CARVÃO PARA MODIFICAÇÃO ARTIFICIAL DO CLIMA DO NORDESTE

Carta do Prof. Willian M. Gray.

A carta reproduzida a seguir, com tradução, foi recebida em resposta à indagação sobre as idéias atuais do Prof. William Gray sobre o método de modificação climática pelo uso da técnica de partículas de carvão para o Nordeste do Brasil.



Colorado State University
Fort Collins, Colorado
80523

Department of Atmospheric Science
June 3, 1980

Dr. Gylvan Meira Filho
Institute de Pesquisas Espaciais (INPE)
Departmental de Meteorologia
CAIXA Postale 515
12.200 São José Dos Campos, SP
BRAZIL

Dear Dr. Gylvan:

In reference to your phone call of 23 May concerning my opinion on carbon black research for the northeast Brazil dry zone, I have the following comments: I believe the drought problem in the northeast is so important to the economy of Brazil that extensive research should be focused on this subject. Of the two weather modification schemes that have been proposed, cloud seeding and carbon black absorption of solar energy, I believe the latter scheme holds the most promise. I do not believe that warm cloud seeding with salt even if it is shown to be statistically significant will be economically feasible. With regard to super-cooled seeding with dry ice, I am not in a position to evaluate this but my suspicion is that the high freezing levels in the northeast prohibit significant rainfall enhancement by this method. Therefore, I know of no other modification idea that might be feasible other than the carbon black idea that I and my research colleagues proposed seven years ago.

Rodolpho Paes Leme Ramos has explored this idea for the northeast and I believe that further study of this method is warranted. But, one should not go out and start burning carbon black at this time. As scientists we must resist government pressure to implement any scheme that has not been thoroughly tested observationally and in numerical models, and on which some general scientific consensus has been gathered. I, therefore, recommend that continued observational work go on at CTA on how the major northeast rainfall occurs. Is most of it from traveling weather systems from the east that come in from the ocean and move across the northeast area or is there substantial rainfall from penetrating cold fronts as V. Kousky has shown is also relevant? There is much more observational work that should be done to establish, with greater confidence, just what produces the rain in the northeast.

If a sizable part of this rain does come from organized tropical disturbances moving westward from the ocean across the northeast, then I think that some beneficial intensification of these weather systems, while they are over the ocean, might be possible. When these more intense weather systems move over the northeast they might produce a little more rain than otherwise would occur.

Page 2
Dr. Gylvan

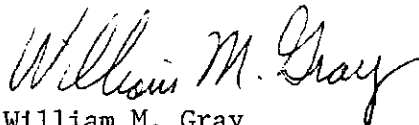
This idea should be extensively tested observationally (probably at CTA) and in numerical models (probably at INPE) before anything in a practical way is done. Brazil should establish a good meso-scale numerical modelling research group that could begin to test the influence of heat sources such as the carbon black seeding might be able to produce. It is also important that Brazil modelling experts make contact with those groups and scientists outside Brazil that already have running meso-scale tropical models which might also test the influence of carbon black heat sources.

Thus, if pressures do build within Brazil to do something for the northeast drought area, I would hope that these pressures would take the form of research funds for more observational and numerical modelling investigation of the likely influence of low level heat sources on weather systems as might be feasible from carbon black absorption of solar energy. Of course, you must realize that this carbon black would be burned from ships off the northeast Brazil coast and would absorb solar energy within and just above the boundary layer where the tropical atmosphere naturally absorbs very little solar energy.

I would be glad to discuss this matter further with you or any others. I hope this sufficiently states my view on this subject.

With best regards.

Sincerely yours,



William M. Gray
Professor

cc: Prof. Rodolpho Paes Leme Ramos
Dr. Pedro Silva-Dias

WG/bb

Dr. Luiz Gylvan Meira Filho
Instituto de Pesquisas Espaciais
Departamento de Meteorologia
Caixa Postal, 515
12.200 - São José dos Campos, SP
Brasil

Caro Dr. Gylvan,

Com referência ao seu telefonema de 23 de maio, sobre mi nha opinião a respeito da pesquisa de partículas de carvão para a zona seca do Nordeste do Brasil, tenho os seguintes comentários: Acredito que o problema da seca no Nordeste é tão importante para a economia do Brasil, que necessita uma ênfase maior de pesquisa neste assunto. Dos dois métodos de modificação de tempo propostos, nuvens e absorção por partículas de carvão da energia solar, acredito que o segundo método é o mais promissor. Não acredito que a nuvens quentes com sal mesmo que se mostre estatisticamente significante seja viável economicamente. Com respeito a nuvens super-resfriadas com gelo seco, eu não estou em posição para avaliar isto, porém minha suposição é que os altos níveis de congelamento no Nordeste proibem um aumento significativo da precipitação. Portanto não conheço outra idéia de modificação que poderia ser viável além do método das partículas de carvão que eu e meus colegas de pesquisa propusemos há sete anos atrás.

Rodolpho Paes Leme Ramos explorou esta idéia para o Nordeste, e acredito que são válidos mais estudos deste método. Mas não devemos começar a queimar partículas de carvão neste momento. Como cientistas devemos resistir à pressão de governo para implementar qual-quer método que não tenha sido rigorosamente testado observacionalmente e em modelos numéricos e sobre o qual não tenha sido obtido um consenso científico geral. Portanto, recomendo a continuação de trabalhos observacionais feito pelo CTA sobre como ocorre a precipitação na maior parte do Nordeste. Será que a maior parte desta precipitação é

contribuição substancial a partir de frentes frias que penetram no Nordeste, como foi demonstrado por V. Kousky. Há muito mais trabalho observacional e que deve ser feito para estabelecer com maior confiança, o mecanismo de chuva no Nordeste.

Se a maior parte desta precipitação provem de perturbações tropicais organizadas movendo-se para Oeste a partir do oceano, então a intensificação destes sistemas de tempo, enquanto estão sobre o oceano, poderia ser possível. Quando estes sistemas mais intensos atingissem o Nordeste, eles poderiam provocar um pouco mais de precipitação do que ocorreria normalmente.

Esta idéia deveria ser testada extensivamente através de observação (provavelmente no CTA) e em modelos numéricos (provavelmente no INPE) antes que seja feita qualquer coisa na prática. O Brasil deveria estabelecer um bom grupo de pesquisa em modelagem numérica de meso-escala que poderia começar a testar a influência de fontes de calor tais como as que poderiam ser produzidas pelas partículas de carvão. É também importante que os especialistas em modelagem do Brasil estabelecessem contato com os grupos e cientistas fora do Brasil, que já tenham modelos funcionando, os quais poderiam também testar a influência de fontes de calor das partículas de carvão.

Se as pressões no Brasil aumentarem no sentido de fazer alguma coisa para a área de seca do Nordeste, espero que estas pressões tomem a forma de verbas de pesquisa para mais investigações observacionais e de modelagem numérica da provável influência das fontes de calor em baixos níveis sobre os sistemas de tempo, como poderia ser viável a partir da absorção de energia solar pelas partículas de carvão. Naturalmente, você deve entender que o carvão seria queimado a partir de navios fora da costa do Nordeste brasileiro, e as partículas de carvão absorveriam energia solar dentro e logo acima da camada limite, onde a atmosfera tropical naturalmente absorve muito pouca energia solar.

Eu teria prazer em discutir mais este assunto com você

ou com outras pessoas. Espero que esta carta esclareça suficientemen
te meu ponto de vista sobre este assunto.

Com os melhores votos.

Sinceramente

William M. Gray
Professor

cc. Prof. Rodolpho Paes Leme Ramos
Dr. Pedro Leite da Silva Dias

9. COMENTÁRIO SOBRE O EFEITO DA POEIRA DE CARBONO NA CONVECÇÃO POR CÚMULOS

Pedro Leite da Silva Dias

INTRODUÇÃO

A maior parte das técnicas propostas para a modificação de cúmulos estão relacionadas com a sementeira por pequenas partículas em nuvens já existentes. Em particular, seria útil sabermos se nuvens quentes podem ser dinamicamente formadas e se cúmulos podem ser dissipados por técnicas não convencionais.

O mais avançado destes métodos baseia-se na alteração das propriedades radiativas da atmosfera; até agora somente a poeira de carbono foi considerada. O excesso de energia observado no balanço energético da superfície em escala global é provocado pela diferença entre os fluxos líquidos de radiação solar e terrestre. Este excesso é compensado por fluxos de calor sensível e latente da superfície para a atmosfera. A atmosfera é, sob o ponto de vista energético, um sorvedouro de energia. O deficit radiacional é compensado pelo fluxo de calor sensível e latente da superfície. Vemos portanto, a importância de transportes convectivos na transferência de calor de superfície para a atmosfera e na redistribuição interna. Se parte da energia solar, que penetra através da atmosfera da terra até a superfície, fosse absorvida diretamente pelo ar teríamos uma imensa fonte de calor na própria atmosfera. Haveria portanto, uma redução do deficit radiacional da atmosfera.

O aspecto atrativo da técnica de modificação de tempo por poeira de carbono reside justamente na possibilidade do aumento de absorção de radiação solar. Segundo Gray (1976), partículas de carbono com raio $r < 0.1 \mu\text{m}$ dispersadas na atmosfera podem absorver uma porcentagem significativa da radiação solar incidente e aquecer por condução o ar nas vizinhanças.

Em adição à energia solar extra absorvida pelas partículas de carbono, é razoável supor que a cobertura de nuvens seria aumentada. Este aumento pode inibir a perda de energia por onda longa da atmosfera através de intensificação do efeito de estufa. Isto é especialmente verdade no caso de camadas de cirros na região tropical (Cox, 1971).

EXPERIMENTOS JÁ REALIZADOS

Algum trabalho teórico e experimental foi desenvolvido na década de 1950 pelo "Naval Research Laboratory (Van Straten et al., 1958). As partículas de carbono foram dispersas por avião e pequenas nuvens se formaram mas os resultados não são conclusivos segundo Hess (1974). Estes experimentos também foram conduzidos no sentido de estudar a dissipação de cúmulos. Neste caso as partículas de carbono foram dispersadas junto às bordas das nuvens. Os resultados também não foram conclusivos, porque as nuvens testadas eram pequenas e normalmente dissipariam num tempo curto.

Os resultados mais significativos até o momento foram obtidos através da modelação numérica do fenômeno. Chen e Orville (1977) consideram o efeito da dispersão de partículas de carbono num modelo bi-dimensional, dependente do tempo, numa grade de 6,4 km x 3,2 km. Na equação da continuidade para o pó de carbono é incluído um sorvedouro produzido pela precipitação e difusão para a superfície do oceano. O aquecimento radiativo é proporcional à concentração de carbono no ponto da grade. A equação de transferência de radiação não é utilizada explicitamente para o cálculo da divergência do fluxo de radiação. Portanto, as propriedades radiativas das partículas de carbono como absorvidade e reflectividade não são consideradas explicitamente.

Neste trabalho, Chen e Orville concluem que velocidades verticais significativas são produzidas rapidamente pelo aquecimento inicial. Entretanto, a intensidade da velocidade vertical é proporcional à concentração de carbono e esta diminui rapidamente pela difusão e advecção. O problema da manutenção da concentração adequada de partículas de carbono parece ser um dos fatores negativos mais sérios. Chen e

Orville utilizaram concentrações iniciais de pó de carbono nas simulações bem maiores que nos experimentos de campo e ainda assim os resultados não foram conclusivos.

Os resultados da modelação de Chen e Orville não são diretamente aplicáveis a hipótese de modificação em mesoescala por pó de carbono sugerida por Gray (1976). Gray sugere que a fonte artificial de calor deva ser empregada em mesoescala (100 ~ 300 km) para atingir um ganho significativo em termos de precipitação e diminuição de efeitos danosos de tempestades.

Nos resultados de modelos numéricos apresentados por Gray (1976), podemos observar indícios de que uma fonte artificial de calor do tamanho e intensidade propostas podem produzir significativas modificações no ambiente em mesoescala. Entretanto, todos os resultados apresentados não consideram o problema de dispersão das partículas de carbono.

CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

Sabemos que a reação da atmosfera a fontes de calor é extremamente sensível à escala no espaço e no tempo da função forçante. Aquecimento rápido em escala espacial pequena tende a não deixar impressão no campo da temperatura. A energia inicial é dispersada por ondas gravitacionais. A dispersão de energia diminui com o aumento da escala espacial e do tempo de duração da função forçante. Estes aspectos da dispersão de energia na atmosfera tropical são especialmente relevantes para a explicação da origem e manutenção de sistemas tropicais (Silva Dias e Schubert, 1979).

É necessário estudarmos o grau de organização da circulação atmosférica induzida por fontes de calor na camada limite. Foi sugerido que a fonte de calor induzida pelas partículas de carbono causa convergência em meso-escala e movimento vertical em resposta. Isto aumentaria a convecção por cumulos em meso-escala e num ambiente favorável, sob o ponto de vista termodinâmico (estabilidade) e dinâmico (cisalhamento), o sistema poderia se auto-desenvolver. A idéia é certamente atrativa, mas temos também que considerar o efeito da dispersão da fonte de calor pela própria circulação gerada.

O problema consiste em estudar a resposta de um complexo sistema com duas escalas de tempo; uma relacionada com o tempo de reação da atmosfera a uma fonte de calor (T_c) e a outra com o tempo de dispersão da fonte de calor (T_d). Um modelo para simular estas duas escalas deve incluir todos os processos físicos de radiação, dispersão e liberação de calor latente nas nuvens. Somente, com um estudo deste tipo poderemos ter certeza sobre a relação entre T_c , T_d e a escala espacial e temporal da fonte de calor. Podemos resumir estas questões nas seguintes perguntas (Gray, 1976):

1. Como ocorre a difusão horizontal das partículas de carbono na camada limite e na alta atmosfera?
2. Como é afetada a difusão e advecção das partículas de carbono pelo aquecimento durante o dia? Como é alterado o aquecimento pelo efeito de sombra produzido pelas nuvens?
3. Até que ponto a intensificação da convecção por cúmulos atua no sentido de aumentar a organização do sistema e aumentar ainda mais a intensidade?

São perguntas básicas sobre o comportamento da atmosfera que ainda não foram solucionadas. Os modelos necessários para estes estudos são altamente sofisticados exigindo recursos humanos especializados além de computadores ultra-eficientes.

Outro ponto que merece atenção está relacionado com o ambiente em larga-escala na região do nordeste brasileiro. Os processos atmosféricos que provocam precipitação significativa no NE brasileiro são complexos (Kousky, 1979; Ramos, 1975). Ainda não é totalmente claro que os sistemas que provocam chuva no interior do NE sejam aglomerados de nuvens que se formam no Atlântico e a seguir se deslocam para o interior. Existem evidências de que aglomerados de nuvens frequentemente se formam na área oceânica mas não penetram no continente. Neste caso um hipotético aquecimento por absorção solar extra seria inútil visto que as nuvens já estariam na região em questão.

Devemos também estudar a dinâmica dos sistemas costeiros para identificarmos as condições favoráveis à penetração. Neste aspecto devemos considerar não somente o ar em superfície e baixa troposfera, mas a possível existência de correntes na alta troposfera. Com a atual disponibilidade de dados de radiossondagem ainda é prematuro quantificarmos o comportamento do sistema organizado de nuvens na região em questão.

Segue-se, portanto, que além de estudos de viabilidade física do esquema de modificação de tempo por pó de carbono, temos que desenvolver modelos de previsão de tempo adaptados à área.

CONCLUSÕES

Das técnicas de modificação de tempo não convencionais existentes a única que foi dada mais atenção é da absorção de radiação solar por partículas de carbono. Experimentos de campo em escala pequena (escala de nuvens) foram inconclusivos. Resultados de modelação numérica na mesma escala levantaram o problema da dispersão de carbono pelos movimentos convectivos e a eventual redução da concentração de partículas absorvedoras. Modelações numéricas já realizadas em meso-escala (100 - 300km) não incluem os processos de dispersão das partículas e a remoção destas por precipitação. Também não consideram os processos radiativos de absorção e espalhamento explicitamente. Modelos que se utilizam de fontes de calor estacionárias na atmosfera podem ser altamente tendenciosos. A hipotética fonte de calor pode ser dispersada numa escala de tempo inferior ao tempo necessário para a organização de um sistema em meso-escala.

Alguns fatores que devem ser considerados nos modelos são enumerados a seguir:

1. Transporte físico do agente (partículas de carbono).
2. Transporte físico de cristais de gelo (produzidos por nuvens altas induzidas por fonte de aquecimento em ar superior).

3. Mudanças de radiação e balanço térmico como, por exemplo, o efeito de sombra e umidade do solo.
4. Evaporação de água produzida.
5. Mudanças na superfície (vegetação e estrutura da camada limite oceânica).
6. Efeitos dinâmicos.
 - a) intensificação da subsidência ao redor de sistemas intensificados artificialmente.
 - b) interação entre sistemas, com a topografia e com a circulação em larga-escala.
 - c) correntes descendentes associadas a tempestades que podem eliminar ou favorecer a formação de novas células.
 - d) efeitos na larga-escala na modificação de processos convectivos (é plausível considerarmos efeitos prejudiciais em longas distâncias).

Até este ponto consideramos apenas o problema de absorção extra de energia solar pela atmosfera e as possíveis circulações induzidas. Entretanto, também deve ser considerado o impacto ambiental produzido por esta técnica. Entre estas estão:

1. Toxicidade das partículas de carbono
2. Efeitos dos sub-produtos produzidos na produção de partículas de carbono.
3. Efeitos de longo prazo.
4. Efeito das partículas de carbono no ecossistema oceânico.
5. Efeitos estéticos.

Gray (1976) considera estes problemas e conclui que para a quantidade e concentração de partículas de carbono necessárias não haveriam danos ambientais evidentes. Entretanto, neste trabalho é recomendado que "sendo um problema complexo, se estas idéias de modificação de tempo foram levadas adiante, devem ser feitos estudos ecológicos".

Técnicas não convencionais com o uso da poeira de carbono ainda estão em estágio teórico, havendo muita confusão na interpretação dos resultados. Testes de campo só poderiam ser realizados após exaustivos programas de modelação numérica.

REFERÊNCIAS

- CHEN, C.S. and H.D. ORVILLE, 1977: The Effects of Carbon Black Dust on Cumulus-Scale Convection. *J.Appl.Meteor.*, 16, 401-412.
- COX, S.K., 1971: Cirrus Clouds and the Climate. *J.Atmos.Sci.*, 28, 1513, 1514.
- GRAY, W.M.; W.M. FRANK; M.L. CORRIN and C.A. STOKES, 1976: Weather Modification by Carbon Dust Absorption of Solar Energy. *J.Appl. Meteor.*, 15, 355-386.
- HESS, W.N., 1974: Weather and Climate Modification. John Wiley & Sons, New York, 842 pp.
- KOUSKY, V.E., 1979: Frontal Influences on Northeast Brazil. *Mon. Wea. Rev.*, 107, 1140-1153.
- RAMOS. R.P.L., 1975: Precipitation Characteristics in the Northeast Brazil Dry Region. *J. Geophys. Res.*, 80, 1665-1678.
- SILVA DIAS, P.L. and W.H. SCHUBERT, 1979: The Dynamics of Equatorial Mass-Flow Adjustment. Atmospheric Science Paper nº 312, Dept. of Atmos. Sci., Colorado State University, Fort Collins, Colo. 80523.
- VAN STRATON, F.W.; R.E. RUSKIN; J.E. DINGER and W.J. MASTENBROOK, 1958: Preliminary Experiments Using Carbon Black for Cloud Modification and Formation. U.S. Navy Res. Lab. Report nº 5235, 17 pp.

10. O ESTADO DA ARTE DA MODIFICAÇÃO ARTIFICIAL DO TEMPO

Fausto Carlos de Almeida

De acordo com o Workshop sobre "O Futuro da Pesquisa Atmosférica Nacional" realizado nos Estados Unidos em 1977, (Blackadar and Droessler, 1977) onde se reuniu o pensamento de aproximadamente 220 cientistas representando vários ramos da Meteorologia para, a pedido da Fundação de Ciência Americana (NSF), avaliar o status e definir pesquisas que deveriam ter prioridade nos anos subsequentes, o Comitê em Modificação declarou: As pesquisas em Modificação de Tempo devem "focalizar as áreas de alterações intencionais de sistemas de nuvens e precipitação e a do impacto não-intencional das atividades humanas e na meteorologia e clima". Continua afirmando que "é absolutamente vital que a NSF continue a suportar, a níveis adequados, pesquisa básica almejando aumentar nossa compreensão dos processos físicos envolvidos". Cita programas como o "CLIMAX, METROMEX, FACE, HIPLEX e NHRE" como exemplos desse esforço, complementando "que dividendos reais em termos de conceito e compreensão desses processos estão começando a ser realizados". Conclui notando que "devido aos problemas críticos de gerenciamento dos recursos hídricos que já afetam grandes regiões da nação, é certo que usuários potenciais da metodologia de modificação de tempo tentarão a aplicação desta tecnologia tão logo lhes seja possível". "É também aparente que problemas de energia e qualidade do ar nos forçarão a focalizar atenção nos impactos não-intencionais das atividades antropogênicas".

Em outro trabalho oficial e de cunho internacional, preparado pela Organização Meteorológica Mundial (Maybank, 1977), tratando de problemas da organização de experimento para o aumento da precipitação (para orientar países membros na implantação de programas dessa natureza) se destacou que "a possibilidade de se aumentar a precipitação natural pela modificação de nuvens que passam sobre uma área é uma solução para aliviar a escassez de água e as secas". O trabalho continua dizendo que a "Modificação de Tempo, como um método de aumentar chu

va ou neve ..., deve ser descrito atualmente como incerto, mas potencialmente promissor em algumas áreas ou em algumas estações do ano, pelo mínimo. "Do ponto de vista das necessidades de alimento mundiais, a melhora da produtividade agrícola e a mitigação dos efeitos da seca nas áreas agrícolas afetadas são de vital importância, e qualquer meio de conseguir tais benefícios através de um aumento da água disponível deve ser considerado".

Embora não exaustivo, estes dois documentos refletem bastante bem o pensamento atual da comunidade científica internacional sobre o problema da pesquisa e da aplicação na área de Modificação de Tempo.

Das várias atividades em Modificação de Tempo hoje conhecidas as do aumento da precipitação e a de dissipação de névoa, são as que mais se destacaram e já hoje são usadas em programas operacionais. Exemplos são os programas de aumento de neve em Colorado, USA, e o de aumento de chuva em Israel; além dos diversos sistemas instalados em bases aéreas americanas e no aeroporto de Orly, na França para dissipação de névoa.

Técnicas de modificação tais como, supressão de granizo (EUA, Rússia, Canadá, Suíça, África do Sul, etc.), modificação de furacões e tufões (EUA, Japão, etc.), supressão de descargas elétricas (EUA, Rússia, etc), supressão de incêndio em florestas (EUA, etc.) , além de outros que ainda não foram explorados em pesquisa de campo, como por exemplo o uso de "carbon black" para modificação climática, e a modificação do balanço de radiação, encontram-se a nível de pesquisa básica, e não se cogita aplicá-los a nível operacional em futuro próximo, como se viu recomendado pelo primeiro trabalho analisado aqui.

Deve-se lembrar que embora as técnicas de aumento de precipitação já estejam sendo usadas a nível operacional por alguns programas, ainda não existe um consenso sobre seus resultados, aceitando-se em geral um aumento da ordem de 10% a 20% na precipitação. Fato importante a ser destacado é o da não-transferência de tecnologia sem uma prévia análise das condições locais e resultados de programa expe

rimental bem planejado e conduzido, viz-a-viz o programa hoje em exe
cução nos EEUU (HIPLEX), além de outro iniciado em ISRAEL.

RESUMINDO

Das várias atividades em Modificação de Tempo, a de dis
sipação de névoa é a única considerada em estágio operacional.

Segue-se a técnica do aumento de precipitação em estágio
de aceitação como semi-operacional, sem transferência de tecnologia
(são necessários levantamentos preliminares e um programa experimental
para validar a operação).

As técnicas de supressão de granizo hoje já melhor com
preendidas ainda permanecem em estágio de teste de conceitos (numérico
e de campo), assim como as técnicas de modificação de furacões e tu
fões, embora alguns programas de supressão de granizo (por exemplo: os
da Rússia e África do Sul) já afirmem a sua operacionalidade. Note-se
que existem vários programas no mundo investigando e testando estas
técnicas, tal a sua importância para a agricultura e propriedade.

As técnicas de supressão de descargas elétricas e de
incêndio em florestas, embora com alguma experiência de campo realiza
da, ainda se encontram em estágio de desenvolvimento de conceitos e tes
te de teorias,

Técnicas como o uso de "carbon black", e talvez a de mo
dificação do balanço de radiação, permanecem no estágio teórico, sem
nenhum teste de campo.

Do ponto de vista operacional, para fins agrícolas, a
técnica do aumento de precipitação quando comparada a de supressão de
granizo tem maior retorno econômico. A técnica de dissipaçãõ de névoa é
também viável economicamente, embora na maioria de suas aplicações seu
retorno é medido pela finalidade estratégica, em geral de segurança na
cional.

Para as demais técnicas mencionadas, são poucos ou nenhum os estudos existentes sobre seus retornos econômicos.

CONCLUSÃO

Para finalizar, repete-se aqui a conclusão chave do trabalho intitulado "The Managment of Weather Resources" preparado para o Departamento de Comércio dos EEUU em 1978 (Cleveland, 1978): "Uma tecnologia utilizável (a de Modificação de Tempo) para aumentar significantemente chuva e neve, e diminuir danos causados por algumas situações meteorológicas adversas, já é cientificamente possível, e proxima a ser alcançada".

REFERÊNCIAS

BLACKADAR, A.K. and E.G. DROESSLER, 1977: Workshop on the Future of National Atmospheric Research, workshop co-leaders. August 17-18, AMS, Boston, Mass., USA, 143 pp.

MAYBANK, J., 1977: The Scientific Planning and Organization of Precipitation Enhancement Experiments, with particular attention to agricultural needs. WMO Technical note n° 154, WMO, Geneva, Switzerland, 88 pp.

CLEVELAND, H., 1978: The Mangement of Weather Resources, vol.I, Proposals for a national policy and program, chairman of the advisory board. Department of Commerce, Washington, D.C., 229 pp.

Conferências realizadas pela AMS com o título "Inadvertment and Planned Weather Modification" da qual a última, a de n° 7 foi realizada em Banff, Alberta, Canadá, Outubro 8-12, 1979.

Conferências realizadas pela WMO com o título "International Conference on Weather Modification". Próxima será realizada em Clermont Ferrand, França, em julho, 1980.

11. ALGUNS ASPECTOS DA MODIFICAÇÃO ARTIFICIAL DE TEMPO

Roberto Vicente Calheiros

A interferência nos processos de precipitação, visando mudar tanto a intensidade quanto a distribuição da mesma, requer, preliminarmente, um conhecimento daquele fenômeno ocorrendo naturalmente, em escalas espacial e temporal compatíveis com a variabilidade que ele apresenta. Tal é o caso das chuvas convectivas, que participam muito ativamente no ciclo hidrológico no Brasil, e para as quais a realidade pluviométrica dificilmente pode ser configurada com maior representatividade, pelas atuais redes de monitoramento de precipitação existentes.

Calheiros e Antonio (1979), em estudos relacionados às bacias hidrográficas selecionadas na porção central do Estado de São Paulo, verificaram aquela dificuldade através do acompanhamento de precipitações efetuado por rede razoavelmente densa de pluviômetros e radar meteorológico.

Clarke e Tucci (1979), trabalhando no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, dedicaram atenção especial ao problema reconhecidamente constituído pela amostragem espacial não representativa da precipitação.

Ao se analisar com mais detalhe a estrutura íntima das chuvas, a situação apresenta complicações adicionais, pois são necessárias técnicas de maior especialização para que possam ser feitas observações que atendam à resolução que se requer.

Pelas características da capacidade de observação pluviométrica de que dispõe hoje aqui, conclui-se pela necessidade da execução de intensos programas de coleta de dados - inclusive com a expansão e consolidação dos já existentes - convenientemente projetados para determinadas áreas, como uma das bases importantes para o conhecimento dos

fenômenos envolvidos na geração de chuva naquela área antes da implementação de esquemas amplos de modificação artificial de tempo.

REFERÊNCIAS

- CALHEIROS, R.V. and ANTONIO, M.A. "Radar Hydrometeorology in central São Paulo, Brazil", Symposium/Workshop on Digital Radar Reflectivity Processing with Applications to Hydrometeorology, outubro 16-18, 1979, Edmonton, Alberta, Canada.
- CLARKE, R.T. e TUCCI, C.E.M. "Os efeitos de algumas suposições implícitas no cálculo da média e variância do escoamento médio anual usando as séries mais longas de precipitação", Revista de Hidrologia e Recursos Hídricos, nº 2, p. 19-33, agosto, 1979