

PREVISÃO REGIONAL DA CHUVA PARA O ESTADO DO CEARÁ ATRAVÉS DO PROJETO “TEMPO DE CHUVA”: 1964-1999

Teresinha de Ma. Bezerra S. Xavier

*FUNCEME SRH; Departamento de Hidráulica e Curso de Mestrado em
Recursos Hídricos/Centro de Tecnologia/UFC; Academia Cearense de Ciências
txavier@secrel.com.br Cc: tmxavier@funceme.br*

Airton Fontenele Sampaio Xavier

Univ. Fed. Ceará (através do PROPAP-UFC) e da Academia Cearense de Ciências

Pedro Leite da Silva Dias e Maria Assunção Faus da Silva Dias

Depto. de Ciências Atmosféricas / Inst. Astronômico e Geofísico / USP

RESUMO

Consideram-se modelos operacionalizados e testados na FUNCEME através de um projeto de pesquisa que se intitula “Tempo de Chuva: Técnicas Estocásticas de Modelagem para Previsão de Chuva”, destinados à previsão para a “quadra chuvosa” nas regiões pluviometricamente homogêneas do Estado do Ceará. Em especial, são aqui apresentados os resultados referentes a 1999, bem como, aos dois anos anteriores 1997 e 1998, quando passam a ser avaliados mediante a comparação entre os valores previstos da chuva e aqueles valores efetivamente observados da precipitação, nas várias regiões. Ademais, são ainda analisados, em conjunto, os erros de ajuste (fitting) e os de previsão (forecasting) ao longo de todo o período 1964-1999. Mencione-se que os referidos modelos encontram-se em fase de ensaio para o caso da chuva sobre as principais bacias hidrográficas no Ceará.

INTRODUÇÃO

Nesta exposição, trata-se da questão do desenvolvimento e operacionalização de “modelos estocásticos” destinados à previsão da chuva nas regiões pluviometricamente homogêneas do Estado do Ceará. Em especial, são apresentados os resultados para a “quadra chuvosa” de 1999, bem como, para os dois anos anteriores, 1997 e 1998. A quadra chuvosa, ou seja, o quadrimestre usualmente mais chuvoso, vai de fevereiro a maio na maior parte das regiões do Ceará; com exceção do Cariri, que vai de janeiro a abril. São ainda estudados, conjuntamente, os “desvios” ou “erros” de ajuste (*fitting*) e de previsão (*forecasting*), ao longo de todo o período 1964-1999. O modelo é testado junto à Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) - SRH, no contexto

de um projeto intitulado “Tempo de Chuva: Técnicas Estocásticas de Modelagem para Previsão de Chuva”.

No que concerne ao Nordeste semi-árido e ao Ceará, pesquisas desenvolvidas pelos dois primeiros autores e sucessivos colaboradores, iniciaram-se desde 1981, no âmbito do chamado Programa do Trópico Semi-árido, com a finalidade de estudar a climatologia da precipitação, bem como, de explicar e/ou prever a chuva no Nordeste setentrional, particularmente no Estado do Ceará. Tais projetos deram então origem: 1) a trabalhos sobre regimes de chuva vigentes no Nordeste brasileiro, datados de 1982 e 1983, que expandiram ou permitiram reavaliar de forma mais clara vários aspectos preliminarmente tratados por outros autores; 2) àqueles direcionados para explicar ou prever a chuva na região, divulgados entre 1985 e 1986, com emprego de Modelos de Regressão Linear Múltipla passo-a-passo (*stepwise*), cujas variáveis explicativas e/ou preditivas (também chamadas variáveis independentes ou ainda covariáveis) eram as temperaturas médias sobre o Atlântico intertropical em duas áreas situadas ao sul e norte da linha do equador, ambas contíguas à costa do Nordeste brasileiro, além do índice da atividade solar. Com o emprego dos Modelos Lineares Generalizados - MLG, deu-se mais adiante continuidade aos trabalhos sobre a previsão da chuva, realizados entre 1988 e 1990, através de um projeto tendo o concurso das universidades federais do Ceará e Pernambuco. Todos esses trabalhos encontram-se referidos em Xavier et al. (1998).

Dentre outros artigos recentes dos autores, nesta linha da previsão, tem-se: Xavier & Xavier (1995, 1997, 1998/1999).

Modelos “exógenos” e “endógenos”

Todos os modelos aqui desenvolvidos são *modelos exógenos*, no sentido de neles estarem envolvidas diversas *covariáveis preditivas* (ou variáveis independentes) que não a própria chuva,

intervindo dinamicamente, além de serem considerados *retardos* (ou *lags*). O elenco das diversas covariáveis descreve-se na seção sobre “Dados e Metodologia”.

Quanto aos *modelos endógenos*, dizem respeito a tentativas de prever a chuva com base unicamente nos dados da própria chuva, observada no passado recente e/ou remoto; mas em geral, levando a prognósticos sujeitos a grandes imprecisões, desde que a chuva, em si, constitui um preditor muito pobre para ela mesma.

Evidentemente não há, em princípio, empecilho para incluir a chuva da pré-estação dentre as demais covariáveis, no contexto de um modelo exógeno. Mas isso pode tornar-se arriscado, conduzindo a erros no caso de um ano seco no qual janeiro tenha sido chuvoso, como ocorreu em 1998, no Ceará; conforme Xavier & Xavier (1998/1999, op. cit.).

Entre os modelos endógenos encontram-se aqueles supostamente baseados na existência de periodicidades, os quais são falhos devido ao fato de que a chuva, na verdade, não costuma exibir periodicidades propriamente ditas mas, apenas, “quase-ciclos”. Tal questão foi abordada em diversos trabalhos, entre os quais: Xavier & Xavier (1987a, 1987b, 1990), com o emprego da “filtragem binária”.

Em Xavier & Xavier (1981), criticara-se a utilização de métodos tais que a *Análise de Fourier* (ou *Análise Harmônica*). Críticas consistentes ao emprego de periodicidades, a partir da série de dados anuais de Fortaleza (na época com cerca de 130 anos de observações mensais), encontram-se no Relatório Técnico do INPE (1980), tratando de *Contribuições ao Estudo da Previsão de Secas e Modificação Artificial do Tempo e do Clima do Nordeste Brasileiro*, recebendo o contributo de vários pesquisadores, como Srivatsangam (1980), o qual ali afirmava: “a possibilidade de utilizar a precipitação anual de Fortaleza para prever seu próprio futuro parece ser um exercício fútil”. Bem como Kousky (1980), que assim referia: “as séries temporais meteorológicas podem mostrar outras periodicidades significativas em certos intervalos de tempo. Entretanto, estas geralmente aparecem ou desaparecem à medida em que se adicionam mais dados à amostra ou se analisam diferentes intervalos de tempo”.

No sentido acima mencionado, em Xavier & Xavier (1981, op. cit.), mediante o fracionamento da série de 130 anos em dois pedaços de 65 anos de extensão, não ficavam reproduzidos os mesmos resultados. Por outro lado, ao ser aplicado o referido método a séries sequencialmente mais curtas, a partir daquela de 130 anos de observações, ou

seja, com 129, 128, 127, etc., anos de duração, concluiu-se que os ciclos assim extraídos se deslocavam ou flutuavam no eixo do tempo, mostrando a inexequibilidade do procedimento, neste contexto particular. No mesmo Relatório Técnico consultar, ainda, a contribuição de Xavier (1980).

Em resumo, as técnicas baseadas em harmônicos, inclusive os métodos espectrais, não oferecem interesse direto do ponto de vista da previsão climática propriamente dita; a menos do seu valor intrínseco para a análise da sazonalidade em séries hidrológicas ou, ainda como exemplo, da sua eficácia para fins de interrelacionar longas séries climáticas e geofísicas, em especial aquelas que costumam ser consideradas no domínio da paleoclimatologia.

Etapas para a previsão

Para a previsão no âmbito do projeto “Tempo de Chuva”, consideram-se as seguintes etapas consecutivas:

- a. **Previsão precoce**, ou seja, aquela efetivada com dados disponíveis até novembro/dezembro e, em consequência, podendo ser concluída no decorrer da 1ª quinzena de janeiro. Para o ano de 1999 também se empreendeu uma tentativa de previsão ainda mais precoce, com os dados disponíveis somente até o mês de novembro. De fato, os resultados nesta última direção são considerados experimentais, além de ainda muito precários.
- b. **Previsão com dados até janeiro**, a se efetivar na 1ª quinzena de fevereiro, que é a primeira etapa para uma previsão suposta mais confiável.
- c. **Confirmação da previsão**, desde que fiquem disponíveis todos os dados até fevereiro, podendo assim ser concluída na 1ª quinzena de março. Trata-se da segunda (e última) etapa para uma previsão confiável.
- d. **Monitoração da chuva**, nos meses subsequentes, que se destina à avaliação e controle das previsões.

DADOS E METODOLOGIA

Escolha dos preditores

Para uma escolha judiciosa dos preditores (covariáveis preditivas) entra em jogo o conheci-

mento acumulado e/ou disponível na bibliografia especializada, sobre os diversos fatores e/ou sistemas responsáveis pelas chuvas no Nordeste setentrional e no Ceará. Por outro lado, os autores desenvolveram estudos específicos destinados a quantificar as relações prevalentes entre os diversos fatores geofísicos, oceânicos, atmosféricos, etc., e a chuva no Estado do Ceará, dos quais uma versão preliminar consta em: Xavier & Xavier (1998a).

Em princípio, fez-se a escolha para os seguintes preditores:

- a. **T SMA, T SMB, T SMC**: TSM (Temperatura da Superfície do Mar) nas áreas A e B do Atlântico Sul (adjacentes à costa do Nordeste e da África, respectivamente) e na área C do Atlântico Norte (também adjacente à costa da África). Outras áreas no Atlântico são: Área D do Atlântico Norte, a oeste da Área C, e Área G, que corresponde ao Golfo da Guiné. E as sub-áreas A1, A2, B1, B2, ...
- b. **WYA** (e **WYA1**): componente meridional da “pseudo-tensão” do vento na área A (resp., na sub-área A1).
- c. **WXA**: componente zonal, idem, na Área A do Atlântico. As áreas no Atlântico mencionadas anteriormente são mostradas na Figura 1; para mais detalhes, ver Xavier et al. (1998, op. cit.).
- d. **N34a, N12a, N30a, N40a**: anomalias da TSM nas áreas NIÑO 3+4, 1+2, 3 e 4 do Pacífico, conforme a Figura 2. Note-se que a Área NIÑO 3+4 não é formada, exatamente, pela “reunião” das áreas 3 e 4, mas por uma área menor, tomando apenas a metade a oeste (resp., leste) da área NIÑO 4 (resp., área NIÑO 3).
- e. **IOS**: Índice de Oscilação Sul (ou SOI - *Southern Oscillation Index*).
- f. **SOL**: Atividade Solar Média (ou Índice de Wolf, referente às manchas solares).
- g. **DIP: T SMA – T SMC**, como medição do chamado dipolo no Atlântico; no caso, através da diferença entre as TSM nas Áreas A (no Atlântico Sul) e C (no Atlântico Norte).
- h. **TSMN e TSMS**: médias globais da TSM no Atlântico Norte e no Atlântico Sul, permitindo definir uma medida global do “dipolo no Atlântico”, mediante a diferença $DIP^* = TSMS - TSMN$. No presente artigo intervêm as covariáveis tomadas aos grupos a, b, d, e, g, e h.

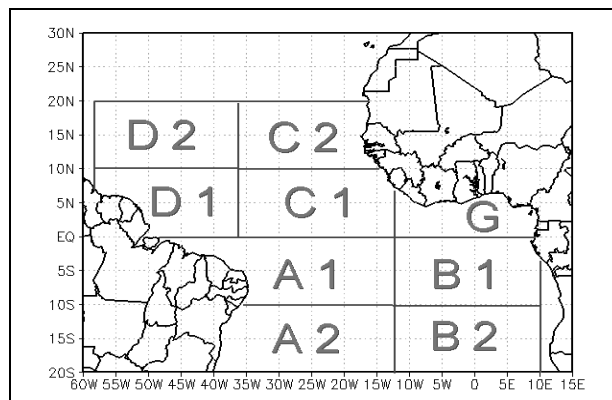


Figura 1. Áreas escolhidas para cálculos de temperaturas médias no Atlântico intertropical Sul e Norte.

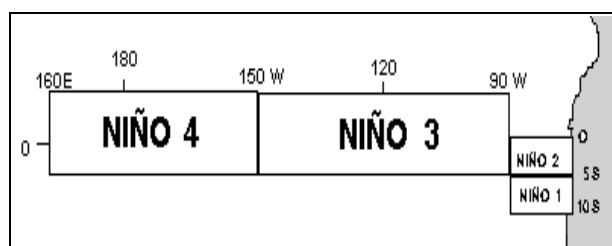


Figura 2. Áreas no Pacífico equatorial (Niño 1+2, 3 e 4).

A importância das águas oceânicas sobre o clima já havia sido mencionada por Humboldt (1843-1858), conforme trecho em sua obra *Kosmos*. De fato, a influência de anomalias da TSM do Atlântico sobre as chuvas do Nordeste brasileiro foi levantada por Markham & McLain (1977) e também por Hastenrath & Heller (1977). Nessa direção, registram-se trabalhos subseqüentes, onde também eram levados em conta outros possíveis fatores: Hastenrath (1978), Namias & Cayan (1981), Moura & Shukla (1981), Teixeira & Reiter (1984), Hastenrath, Wu & Chu (1984), bem como os de Servain, Picaut et al. (1984, 1985), Servain (1985, 1986, 1993), Ward & Folland (1991), Hastenrath & Greischar (1993), Nobre (1993) e Sperber & Hameed (1993). Para trabalhos mais recentes tratando da variabilidade do Atlântico e suas relações com a chuva no Nordeste brasileiro (e também no Sahel africano), lembra-se: Huang & Shukla (1996), Bojariu (1997), Wainer & Soares (1997), Rao et al. (1999), Tanimoto (1999) e Servain et al. (1999).

Sobre o papel do vento de superfície no Atlântico intertropical certos aspectos haviam sido tratados, especialmente em Servain, Picaut et al. (1985, op. cit.) e posteriormente na tese de Nobre (1993, op. cit.). Quanto à importância da Componente Meridional do Vento, por outro lado, foi enfa-

tizada em Xavier & Xavier (1997, op. cit.) e Xavier et al. (1998, op. cit.). Ainda a respeito da interação oceano-atmosfera cabe mencionar o papel da TSM no Pacífico equatorial e dos eventos ENOS (“El Niño/Oscilação Sul”), conforme Caviedes (1973), Hastenrath (1976) e Hastenrath & Heller (1977, op. cit.).

Fontes dos dados geofísicos

Os dados para a TSM e a Pseudo-Tensão do Vento no Atlântico são cedidos pelo Dr. Jacques Servain, do IRD (antiga ORSTOM) - *Centre de Bretagne* - França. Os arquivos, desde janeiro/1964 até o presente, referem-se às médias mensais e às anomalias para a TSM e também das componentes meridional e zonal da pseudo-tensão do vento, em pontos de grade de 2 em 2 graus, entre 30° N e 20° S. De fato, para cada mês e ano, o valor da TSM e das duas componentes escalares da pseudo-tensão do vento, em cada ponto de grade, constiuem valores médios de todas as observações individuais de cada um desses parâmetros, obtidas naquele mês e ano, no entorno do referido ponto de grade, por navios que cruzam o Atlântico. Todas as medidas individuais, instantâneas, são transmitidas pelos navios para um centro de coleta dos dados, que são processados no IRD – Centro da Bretanha, sob a supervisão do Dr. Jacques Servain, desde 1964. Para o período 1964 - 79, havia a disponibilidade de um atlas da TSM e do vetor pseudo-tensão do vento, editado pela *Université de Bretagne Occidentale – Laboratoire d’Oceanographie Physique* (França) e *University of Hawaii - Joint Institute for Marine and Atmospheric Research* (USA), preparado por Picaut, Servain et al. (1985). Atualmente, esses dados são obtidos *on-line*. As “médias” em cada mês e ano, de cada um desses parâmetros, nas áreas A, B, C, D e G, bem como nas sub-áreas respectivas, são calculadas pelos autores deste trabalho utilizando programas de computação específicos. O número de valores originais dos arquivos do IRD – Centro da Bretanha, utilizados no cálculo dessas “médias”, corresponde ao número de pontos de grade que caem dentro de cada área ou sub-área. Por outro lado, os dados para a pseudo-tensão do vento (e suas componentes) se expressam, aqui, em m^2/seg^2 .

Sobre as anomalias da TSM no Pacífico, nas áreas NIÑO da Figura 2, bem como para o Índice de Oscilação Sul, tratam-se de conceitos já amplamente conhecidos, cujos dados estão igualmente disponíveis *on-line*, no *CPC Data (Climate Prediction Center) – Current Monthly Atmospheric*

and SST Index Values / NCEP (National Center for Environment Prediction) / USA.

Dados regionais da chuva no Ceará

Todos os dados de chuva referem-se às seguintes regiões (e sub-regiões) do Estado do Ceará, pluviometricamente homogêneas, que é uma modificação da regionalização anteriormente utilizada pela FUNCEME, podendo ser também consultadas na Figura 3:

1. LITORAL (LIT), com quatro sub-regiões: i) LITORAL 1: Litoral Norte, incluindo postos entre Chaval e Acaraú, adentrando até à altura de Sobral (L1G); ii) LITORAL 2, com postos entre Trairi e Pecém, adentrando até Pentecostes e Gen. Sampaio (L2G); iii) LITORAL 3, com postos entre Caucaia e Beberibe, cobrindo a região metropolitana de Fortaleza (L3G); iv) MACIÇO de BATURITÉ e postos na sua circunvizinhança (B0G);
2. REGIÃO da IBIAPABA: com postos da Serra da Ibiapaba, porém avançando até os municípios de Cariré, Hidrolândia e Poranga (I0G);
3. REGIÃO JAGUARIBANA, desde o litoral de Aracati e depois se aprofundando como longa faixa até à altura de Icó (J0G);
4. CARIRI cearense (C0G);
5. REGIÃO do SERTÃO CENTRAL + INHAMUNS (S0G), a mais extensa de todas.

Evidentemente, dentro de cada região subposta homogênea, ainda ocorrem heterogeneidades, que se originam por diferenças de altitude e outras peculiaridades orográficas, distância ao litoral, etc. De fato, uma homogeneização levada a mínimos detalhes conduziria, por sua vez, a extrema micro-fragmentação da realidade geográfico-climática com a qual tornar-se-ia impossível lidar.

Para a pluviometria, as observações básicas são aquelas da rede de postos controlados pela FUNCEME, em geral se iniciando em 1974. Porém, com respeito a vários dos postos, as observações só começam muito depois, além de ainda ocorrerem falhas, não tanto infreqüentes. Assim, as séries respectivas cobrem, quando muito, 24 anos de dados e, em alguns casos, são bem mais curtas. Ora, além de não ficar assegurado o mínimo de 30 (trinta) anos preconizados por normas da OMM-Organização Meteorológica Mundial (WMO-World Meteorological Organization) decorre

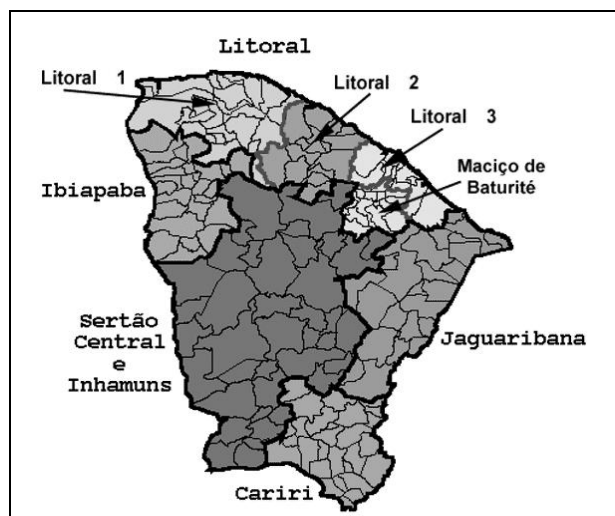


Figura 3. Regiões pluviométricamente homogêneas do Estado do Ceará (1964-1966).

ainda o inconveniente de que estimativas de déficit ou de superavit da chuva a partir desses dados não seriam comparáveis entre si, para os diversos postos, especialmente com séries não coincidentes na sua extensão temporal e/ou com extensões muito distintas.

Uma solução encontrada foi construir séries "híbridas" mais longas e de iguais extensões para os postos controlados pela FUNCEME-SRH, correspondendo em termos de sua localização (longitude e latitude) com postos anteriormente incluídos no Banco de Dados Hidrometeorológicos da SUDENE. Nesses casos, tornou-se possível construir séries válidas, em princípio, para todo o período 1964 até os dias de hoje, constituindo um acervo de 93 (noventa e três) postos pluviométricos cobrindo praticamente todo o Estado do Ceará (ver em Xavier & Xavier, 1998b, 1999).

Monitoração da chuva através da técnica dos quantis

Ao analisar os resultados para a previsão da chuva, será também conveniente expressá-los em termos das "categorias" ou "classes": Muito Seco (MS), Seco (S), Normal (N), Chuvoso (C) e Muito Chuvoso (MC), a partir dos intervalos que são delimitados pelos "quantis" de cada série pluviométrica, a níveis das ordens quantílicas 15%, 35%, 65% e 85%. Lembremos que o quantil de ordem 50% é a mediana. Para esses cálculos tomou-se como referência o período 1964-1996. Decerto, os "quantis" podem ser determinados para qualquer intervalo no ano, ou seja, para as séries

da chuva acumulada num dado mês, bimestre, trimestre, quadrimestre, etc.

Essa técnica foi utilizada num trabalho pioneiro de Pinkayan (1966), da Universidade do Colorado, em Fort Collins, Co, destinado a avaliar ocorrências de anos secos e chuvosos sobre extensas áreas continentais; em especial, na área continental dos Estados Unidos. Numa seqüência de vários trabalhos (Xavier & Xavier, 1984a, 1984b, 1987a, 1987b, 1989, 1990), essa mesma metodologia foi aplicada para o problema da classificação e monitoração da ocorrência de anos secos ou chuvosos no nordeste brasileiro e, em particular, no Estado do Ceará. Para uma exposição detalhada, cobrindo todos os aspectos metodológicos a respeito desse assunto, sob os pontos de vista teórico e prático, podem ser consultados os seguintes trabalhos: Xavier & Xavier (1998b, 1999).

Note-se que, com a utilização dos quantis, decorre a possibilidade de determinar as características da quadra chuvosa em cada região, com respeito aos anos até 1998 e os primeiros meses de 1999. Isso permite quantificar o nível de gravidade das ocorrências de secas ou, ainda, o grau de intensidade dos "invernos" mais rigorosos. Note-se que, a rigor, embora seja cientificamente incorreta a designação "inverno" para nomear a quadra chuvosa no nordeste brasileiro, aqui se emprega nesse sentido que lhe é atribuído pela cultura popular e pela tradição, a título apenas de sinonímia.

Por outro lado, decorre ainda a possibilidade de conseguir analisar, mediante critérios objetivos, tanto os acertos quanto os desacertos de previsões para a precipitação, de uma forma retrospectiva. Destarte, permitindo que possa ser adequadamente avaliada a qualidade dos modelos de previsão usados (numéricos, estatísticos ou mistos). Com efeito, por mais sofisticado que seja um modelo em termos das técnicas matemáticas ou estatísticas que nele estejam envolvidas e, ainda, do porte dos recursos computacionais exigidos, sua validade depende, em última análise, do fato de conduzir, ou não, a prognósticos aceitáveis.

Deve-se atentar para a circunstância de ficar envolvido no uso dos *quantis* certo princípio de *relativização* estatística, no sentido de se buscar um significado apropriado para a altura pluviométrica registrada num dado lugar ou localidade. Assim, na verdade, 350 mm de chuva acumulada num dado ano poderá cair na categoria "normal" para um local onde a média pluviométrica (ou normal climática) seja de 480 mm; mas poderá cair no nível "muito seco" para um local onde a média alcance um valor mais elevado, digamos, de 1460 mm; ou, finalmente, no nível "muito chuvoso"

se a média pluviométrica fosse de apenas 100 mm. Além disso, sabe-se muito bem que para localidades sujeitas a um mesmo regime pluvial, poderá existir uma diferença importante nas suas médias pluviométricas em função da altitude, bem como, da dependência do efeito da “continentalidade” (isto é, permitindo distinguir as localidades litorâneas, daquelas mais interiores), etc.

Metodologia para os modelos de previsão

Limita-se, aqui, ao emprego da Regressão Linear Múltipla, “passo-a-passo” (*stepwise*). Na montagem dos modelos de previsão ocorreu a restrição de trabalhar com os dados de cada variável a prever e das respectivas covariáveis (variáveis independentes) só até o ano de 1993, que é o período de ajuste dos modelos ou período de treinamento. Torna-se possível, então, utilizar os modelos propostos para intentar previsões da chuva para os anos subsequentes, 1994, ... , 1997, 1998, 1999, comparado-as com as alturas da chuva efetivamente observadas na “quadra chuvosa”. Trata-se de procedimento padrão nesse tipo de pesquisa.

De fato, para aquilatar a grandeza dos erros de previsão de um modelo e, portanto, decidir sobre sua qualidade, deve-se distinguir entre as previsões *intramodelo* (ou *intra-ajuste*), no caso empreendidas até 1993, e as previsões *extra-modelo* (ou previsões propriamente ditas), estas fora do período de construção analítica do modelo. Note-se que Hastenrath & Greischar (1993, op. cit.) fazem tal distinção; ou seja, entre o que denominam *training period* e *forecasting period*, respectivamente. Outra questão que pode ser levantada refere-se ao critério de validade de um modelo pois não pode residir, apenas, na obtenção de um valor elevado do percentual de explicação da variância R^2 , tampouco na sua significância estatística, esta expressada através da probabilidade p de erro que, geralmente, se espera seja suficientemente pequena. A esse respeito, para outros detalhes, remete-se ainda a Xavier et al. (1998, op. cit.).

RESULTADOS E ANÁLISE DA PREVISÃO

Começa-se pelos resultados da previsão para o ano de 1999. Retrospectivamente, são então examinados os resultados para os dois anos anteriores, 1997 e 1998. Ao mesmo tempo, são

analisados esses resultados à luz da monitoração feita no período fevereiro a maio do mesmo ano. Também serão examinados os possíveis erros de ajuste ou de previsão, a partir de 1964, principalmente no que concerne aos anos secos ou muito secos.

Previsões da “quadra chuvosa” de 1999

São apreciados, de início, os resultados para as Previsões Precoces, ou seja, as que utilizam os dados até novembro/dezembro, embora se encontrem num estágio ainda inicial em termos experimentais. Seguem-se as previsões feitas com dados disponíveis até janeiro/fevereiro de cada ano em curso.

Previsões precoces - Faz-se apenas breve referência sobre experimentos com previsões precoces para 1999, utilizando covariáveis (ou variáveis independentes) medidas até novembro/98; portanto, efetuada no decorrer da primeira quinzena do mês de dezembro. Contudo, são resultados que devem ser considerados sob grande reserva, pois ainda envolvem a utilização de “experimentos de modelagem” não suficientemente testados.

De fato, foram três os “experimentos” ensaiados. Um 1º Experimento conduzindo a prognósticos (em termos pontuais) de chuvas na categoria Normal (N), para as várias regiões pluviométricas do Estado, exceto a região da Ibiapaba, que ficou no limiar de Normal para Chuvoso ($N \rightarrow C$); um 2º Experimento, de prognósticos pontuais de chuvas na categoria Chuvoso (C) ou no limiar de Chuvoso para Normal ($N \leftarrow C$); por fim, no contexto de um 3º Experimento, para todas as regiões os prognósticos de chuvas ficaram na categoria Normal (N).

Assim, tal etapa da previsão, ainda vista com muitas reservas, levou a resultados que, em 1999, não se afastaram em demasia das condições efetivamente ocorridas na sua quadra chuvosa, isto é, para a precipitação acumulada de fevereiro a maio.

Previsão com dados até Jan/99 - Os resultados desta previsão apontavam, para as várias regiões pluviométricas do Ceará, estimativa pontual da chuva dentro das seguintes categorias: N = Normal (em L3G = Litoral 3 ou “Litoral de Fortaleza” e B0G = Maciço de Baturité), $N \rightarrow C$ = Normal para Chuvoso (em L1G = Litoral 1 ou “Litoral Norte”) e, finalmente, $N \leftarrow C$ = Chuvoso para Nor-

mal (em I0G = Ibiapaba, L2G = Litoral 2, J0G = Região Jaguaribana, S0G = Sertão Central + I-nhamuns e C0G = Cariri).

Contudo, como ainda não estavam disponíveis na ocasião os dados para algumas das covariáveis, houve necessidade de empregar um *Modelo Substitutivo*, decerto ainda insuficientemente testado, por ser a primeira vez que era utilizado. Em particular, a covariável DIP - "Dipolo no Atlântico" (TSMA-TSMC) foi substituída por DIP* - "Dipolo Global" (TSMS-TSMN). Mas, em suma, os resultados apontados não se desviaram muito da situação efetivamente ocorrida na "quadra chuvosa" de 1999, com respeito às diversas regiões.

Previsão com dados até Fev/99 - Para essa última etapa da previsão, os dados de fevereiro do IRD-Centro da Bretanha já estavam todos disponíveis *on-line*. Foi utilizado o Modelo discutido em Xavier & Xavier (1998/1999), cuja equação é dada por:

$$\begin{aligned} \text{CHUVA_Qfm} &= \\ &= \Phi(\text{TSMA_b1}, \text{DIP_b1}, \text{N12a_b1}, \text{WYA1_b1}) = \\ &= \alpha + \beta (\text{TSMA_b1}) + \gamma (\text{DIP_b1}) + \\ &+ \delta (\text{WYA1_b1}) + \lambda (\text{N12a_b1}) + \varepsilon \end{aligned} \quad (1)$$

Note-se que b1 refere-se a dados no bimestre janeiro-fevereiro, enquanto Qfm ao quadrimestre fevereiro-maio. Evidentemente, a variável-resposta CHUVA_Qfm, diz respeito à chuva acumulada nos meses de fevereiro a maio, para cada uma das regiões no Estado do Ceará. Em cada caso, obtém-se a equação de regressão estimada na forma indicada em (1). Embora, para o Cariri, Qfm passe a ser substituído por Qja, isto é, considerando o quadrimestre janeiro-abril.

Um resultado animador consiste que em cada uma das equações obtidas, os sinais algébricos para os coeficientes β , γ , δ e λ foram sempre compatíveis com os papéis exercidos pelas covariáveis respectivas, de acordo com o que se conhece da literatura especializada, bem como, o que é ainda mais importante, atendendo às suas interpretações físicas, ou seja: $\beta > 0$; $\gamma > 0$; $\delta < 0$; $\lambda < 0$. Quanto ao termo ε trata-se do *erro experimental* ou *flutuação aleatória*.

É conveniente ressaltar que esses sinais algébricos não são impostos, desde que nas várias rodadas dos modelos, no computador, os valores e os sinais dos coeficientes são selecionados automaticamente, sem qualquer interferência humana. Tudo isso comprova que, conceitualmente, cada um dos modelos resulta ficar absolutamente coerente com a realidade física e também com a clima-

tologia. Ademais, tal coerência se mantém com respeito aos diversos modelos testados, em várias situações, no desenvolvimento da pesquisa ao longo de muitos anos. Portanto, esta é uma garantia de que não se está diante de "artefatos" criados através dos procedimentos utilizados.

São aqui omitidos os valores numéricos encontrados para esses coeficientes, no ajuste do referido modelo para a chuva acumulada no quadrimestre fevereiro-maio, com respeito às várias regiões (e sub-regiões). Com efeito, trata-se de uma informação que é relevante apenas para efeito de cálculos. Contudo, na Tabela 1, estão exibidos os valores dos coeficientes para L1G_Qfm (Chuva na Região Norte, durante o Quadrimestre fevereiro-maio). Nessa tabela, os valores do erro padrão indicam faixas de variação para as estimativas pontuais dos coeficientes, faixas essas tão mais reduzidas proporcionalmente quando o erro p é menor.

Note-se que os sinais de β , γ , δ e de λ atendem às condições referidas anteriormente. Assim, $\beta > 0$ implica que o aumento (resp., diminuição) da TSM na Área A do Atlântico intertropical sul, adjacente ao nordeste brasileiro, contribui para a ocorrência de mais chuva (resp., menos chuva) no Ceará e, em geral, no nordeste setentrional; $\gamma > 0$, por sua vez, implica quanto ao DIPLOLO = TSMA_b1 - TSMC_b1, que anomalias positivas da TSM na Área A do Atlântico sul juntamente com anomalias negativas da TSM na Área C do Atlântico norte (vizinha à costa africana) favorecem mais chuva no Ceará, enquanto a "inversão" desse dipolo, menos chuva (ou seja, com a possibilidade de seca); por sua vez, $\delta < 0$, significa que o enfraquecimento (resp., o fortalecimento) da componente meridional do vento na sub-área A1 favorece um aumento (resp., uma diminuição) da chuva no Ceará. Finalmente, $\lambda < 0$ está de acordo com o papel clássico da TSM no Pacífico sobre a chuva no nordeste setentrional e, em particular, sobre o Estado do Ceará; ou seja, que um evento El Niño (anomalias positivas no Pacífico equatorial) representa um risco para a diminuição das chuvas, enquanto um evento La Niña (anomalias negativas) poderá trazer um aumento das chuvas.

Os resultados obtidos para as previsões nas várias regiões são apresentados, em suas linhas gerais, através da Tabela 2, seguindo-se comentários acerca da sua comparação com os valores da chuva efetivamente medida durante a quadra chuvosa.

Tais resultados, em termos dos intervalos de confiança da previsão e os valores observados da chuva, são exibidos sob outra forma, no contexto da Figura 4, comportando oito gráficos, cada um

Tabela 1. Resultado do ajuste para L1G_Qfm em termos dos seus coeficientes, para o período 1964-1993, pelo Modelo (1).

Covariável*	Coefficiente no modelo	Erro padrão	p**
Constante	$\alpha = -5.253,7$	2.508,4	0,047
TSMA_b1	$\beta = 216,4$	95,0	0,032
DIP_b1	$\gamma = 361,2$	71,1	0,000
WYA1_b1	$\delta = -19,6$	6,9	0,009
N12a_b1	$\lambda = -172,7$	33,7	0,000

* variável independente; ** nível de significância (p = prob. de erro).

deles referente a uma dada região do Estado do Ceará. Embora na Tabela 2 já esteja inclusa parte dessa informação, a Figura 4 oferece a vantagem suplementar de permitir que fique exibida muito mais claramente, não só a comparação da chuva observada com respeito a sua previsão intervalar, mas ainda as diferenças quanto à variabilidade do regime pluvial, entre as regiões.

Em cada um dos oito gráficos da referida figura, sobre uma primeira barra estão representados os quantis (mm) permitindo separar entre si as classes: “muito seco”, “seco”, “normal”, “chuvoso” e “muito chuvoso” para a região correspondente. Na segunda barra, por sua vez, comparece o intervalo de confiança (95%) para a previsão da chuva; enquanto na terceira barra, comparece a chuva efetivamente observada na “quadra chuvosa”. Todas as barras são truncadas no valor 150 mm, para finalidades de construção desses gráficos.

Como se pode muito bem perceber, a partir da inspeção da tabela (ou da figura), a previsão pontual para a chuva acumulada no quadrimestre fevereiro-maio era de ficar na “categoria” Normal (N) em todas as áreas ou regiões estudadas. Note-se que, de fato, as previsões feitas referem-se às médias regionais da chuva, no quadrimestre.

Para a maioria das regiões, os valores observados da precipitação na “quadra chuvosa” caíram, efetivamente, dentro do intervalo de confiança de 95% da previsão que havia sido determinada “a priori”; ou seja, uma previsão praticamente ainda feita no início da quadra e antes do clímax das chuvas que geralmente ocorre de março a abril. Com as exceções de:

- i. **Região do sertão central + Inhamuns**, com uma quantidade de chuva observada pouco abaixo do extremo inferior do intervalo, mas ainda na faixa NORMAL; e

- ii. **Região Jaguaribana**, com o valor observado de 502,2 mm, na faixa Seco, também abaixo do extremo inferior do intervalo de previsão, que era de 553,6 mm (ou seja, na transição de Seco para Normal).

Observe-se que, como o modelo fornecia com respeito à previsão feita para cada região, um intervalo com 95% de confiança, mediante o cálculo de extremos (ou limites) inferior e superior para a chuva, segue-se que ainda subsistia a possibilidade de um resultado caindo fora desse intervalo, que se pode quantificar mediante uma probabilidade de erro da ordem de:

$$1 - 0.95 = 0,05 \text{ ou } 100\% - 95\% = 5\%.$$

Porém, como o cálculo dos intervalos de confiança é realizado para um total de 8 (oito) regiões, simultaneamente, a probabilidade de ocorrerem erros para, ao menos, uma das regiões é na verdade, maior que 5%, pelo efeito conhecido como acúmulo de erros de “Tipo I”. Assim, supondo a hipótese de independência (embora no caso não se possa garantir que a mesma seja essencialmente válida) segue-se que a probabilidade de erro na previsão, em pelo menos uma das regiões, se estimaria através do modelo binomial como igual a:

$$1 - (0,95)^8 = 33,7\%$$

Na última coluna da Tabela 2, dispõe-se do *percentual de explicação da variância* para os modelos ajustados, ou R^2 (que é o quadrado do coeficiente de correlação R entre os valores observados da chuva e os valores ajustados, para o quadrimestre). O maior valor foi $R^2 = 86,7\%$, correspondente a R = 0,93, no caso de L1G = Litoral Norte; o valor mais baixo (excetuando o Cariri) foi $R^2 = 75,5\%$, para S0G = Região do Sertão Central+Inhamuns. De fato, para C0G = Cariri, tem-se $R^2 = 56,5\%$. De certa maneira, o R^2 mede o nível de *previsibilidade* do modelo, em cada caso.

Valores ajustados x observados - Na Figura 5, finalmente, tem-se o gráfico dos *valores ajustados* (P_{AJUST}) contra os *valores observados* (P_{OBS}) da precipitação, através do Modelo (1), para a região L1G = Litoral 1 (para a qual se verifica o maior percentual de explicação da variância, $R^2 = 86,7\%$).

Percebe-se muito bem, nessa figura, que todos os pontos ($x = P_{AJUST}$, $y = P_{OBS}$) distribuem-se em geral, muito próximos à reta $y = x$ (bissetriz do primeiro quadrante), como aliás seria de espe-

Tabela 2. Resultados da previsão para a chuva no quadrimestre fevereiro-maio de 1999, nas várias regiões pluviométricas do Estado do Ceará, usando os dados das covariáveis (variáveis independentes) no bimestre janeiro-fevereiro de 1999.

Região pluviometri- camente homogênea Média mediana (mm)*	Estimativa da chuva (mm) ¹			Chuva observada (mm)	Previsibilidade do modelo ² R ² (%)
	Intervalo de confiança 95 %				
	Limite inferior (mm)	Previsão pontual (mm)	Limite superior (mm)		
Litoral 1 (Norte) 909,0 823,6	899,1 Normal	1018,8 Normal	1138,5 Chuvoso	953,6 Normal	86,7
Litoral 2 800,0 829,1	674,4 Normal	797,7 Normal	921,1 Chuvoso	825,9 Normal	79,6
Litoral 3 (Fortaleza) 979,0 982,7	797,0 S→Normal	922,7 Normal	1048,5 Normal	843,9 Normal	83,3
Maciço de Baturité 828,0 800,5	658,0 S→Normal	775,3 Normal	892,7 Normal	662,5 S→Normal	78,0
Ibiapaba 915,4 858,9	864,3 Normal	983,9 Normal	1103,0 Chuvoso	916,2 Normal	84,9
Jaguaribana 660,3 614,8	553,6 S/Normal	676,7 Normal	799,8 Chuvoso	502,2 Seco	75,6
Sert. Central + Inhamuns 547,4 507,5	495,2 Normal	592,3 Normal	689,5 Chuvoso	483,1 Normal	75,5
Cariri ³ 770,0 722,8	632,8 Normal	762,9 Normal	892,9 M.Chuvoso	698,2 Normal	56,5

* Cálculos para 1964-1996;

¹ Previsão pontual + Intervalo de confiança de 95% entre os extremos inferior e superior;

² R² % é o percentual de Explicação da Variância; (100 - R²) % entende-se como o que deixa de ser explicado devido às flutuações aleatórias, seja por existir(em) variável(eis) preditiva(s) não incorporada(s) ao modelo;

³ Para o Cariri, a "quadra chuvosa" é Janeiro-Abril.

rar. Note-se que em gráficos dessa natureza, os pontos que se situam acima (resp., abaixo) da reta $y = x$ correspondem aos casos para os quais o valor ajustado é inferior (resp., superior) ao valor observado respectivo.

Um fato a explorar diria respeito acerca de como se distribuem os pontos mostrados na Figura 5, pois parecem constituir três grupos ou "clusters" distintos. Um deles, correspondendo aos valores mais baixos da chuva durante o quadrimestre; outro grupo, a valores intermediários da chuva; finalmente, um grupo com apenas dois pontos, correspondendo aos dois valores mais elevados. O gráfico compreende os dados entre 1964 e 1993 (que é o período de ajuste). Já na Figura 6, mostra-se a evolução temporal dos valores, observados e ajustados, de 1964 até 1993. Sua inspeção revela

que, em geral, houve um bom ajuste para os anos mais secos, no referido período. Enquanto que as maiores discrepâncias ocorreram para 1964, 1968, 1972, 1974, 1985 e 1989.

Uma avaliação preliminar dos erros de ajuste e de previsão, ou seja, com respeito a todo o período 1964-1999 e, ainda, para todas as regiões (e sub-regiões), será considerada em uma das próximas sub-seções, mediante a apresentação de um conjunto de gráficos como os da Figura 6, com respeito a todo o período acima mencionado.

Finalmente, na Figura 7 dispõe-se de um gráfico análogo ao da Figura 5 com respeito à região C0G = Cariri (de "previsibilidade" bem menor, R² = 56,5%). Observe-se que uma previsibilidade em torno de 50% significa que o modelo capta apenas esse percentual dentre o conjunto de todos

Previsão Regional da Chuva para o Estado do Ceará Através do Projeto “Tempo de Chuva”: 1964-1999

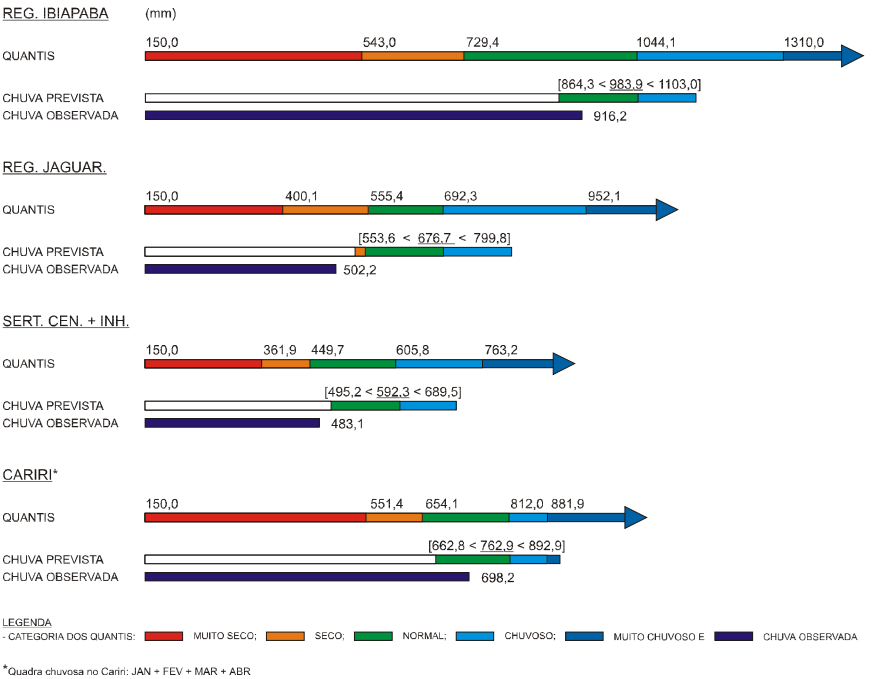
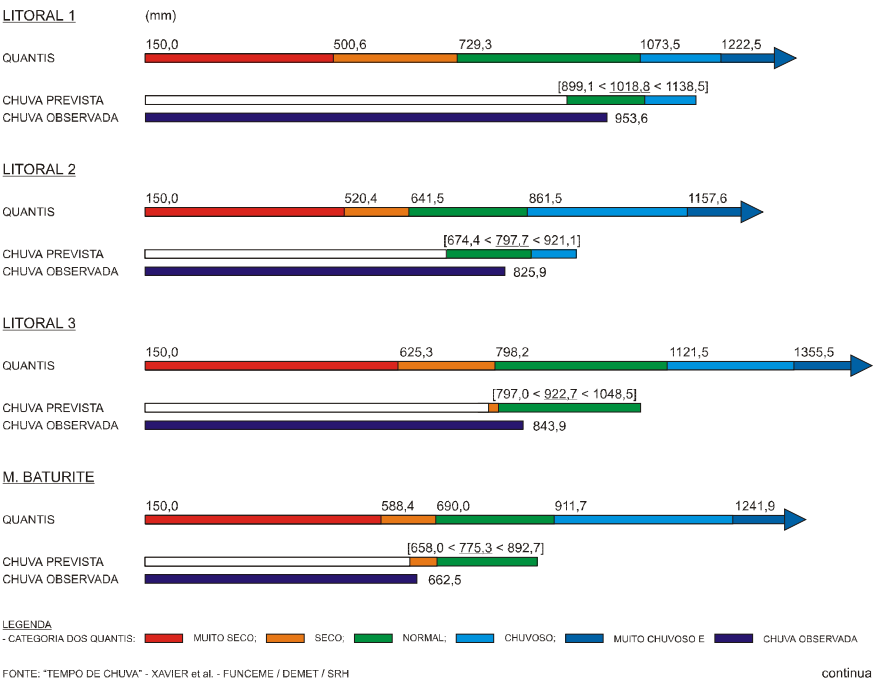


Figura 4. Gráfico da avaliação da “previsão” da chuva na quadra chuvosa (fev + mar + abr + mai de 1999) para as regiões pluviometricamente homogêneas do Estado do Ceará.

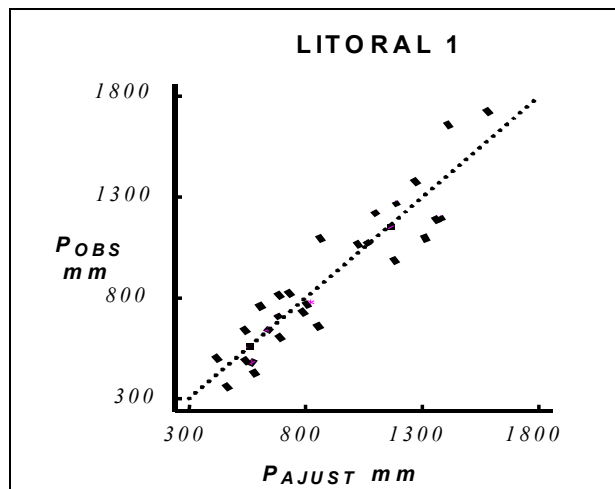


Figura 5. Valores observados (P_{OBS}) da precipitação contra os valores ajustados (P_{AJUST}) durante o período 1964-1993 de “treinamento” do Modelo, para a chuva (fevereiro-maio) no Litoral Norte ($R^2 = 86,7\%$).

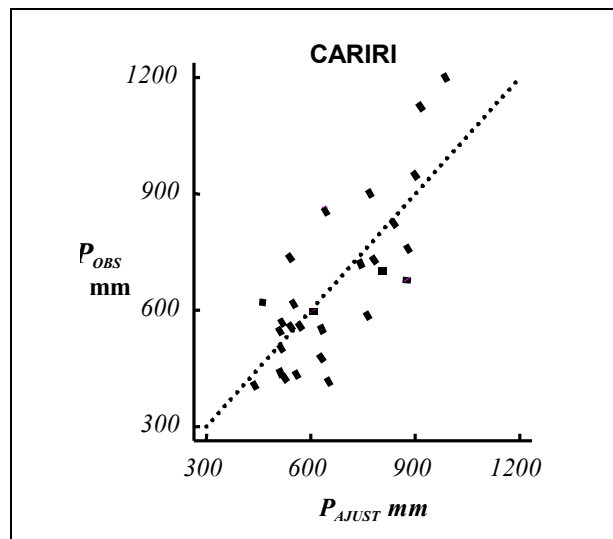


Figura 7. Valores observados (P_{OBS}) contra valores ajustados (P_{AJUST}) da precipitação no período 1964-1993, para a chuva (janeiro-abril) no Cariri.

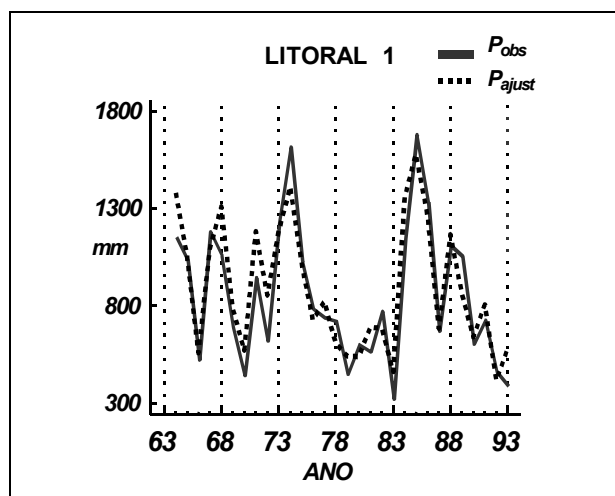


Figura 6. Valores observados (P_{OBS}) e valores ajustados (P_{AJUST}) para a precipitação (fevereiro-maio) durante o período 1964-1993 de “treinamento” do Modelo, no Litoral Norte ($R^2 = 86,7\%$).

os fatores descrevendo o fenômeno (a chuva); no restante desse percentual (diferença para 100%) inclui-se, também, a fração que se atribuiria às flutuações aleatórias. Ora, um dos fatores não contemplados no modelo, no caso do Cariri, seria a ação das “frentes frias do sul”, questão ainda não resolvida em termos do modelo de previsão para esta região. Assim, para o Cariri, fica mantido basicamente o mesmo Modelo (1) que é ensaiado para as demais regiões

Resultados e avaliação para as “quadras chuvosas” 1997-98

Os resultados da previsão (valores estimados) para os dois anos passados, 1997 e 1998, encontram-se apresentados na Tabela 3, devidamente comparados às ocorrências de chuva (valores observados), nas várias regiões pluviometricamente homogêneas.

Erros de ajuste e de previsão em 1964-99

Sobre as ocorrências de “desvios” nos ajustes (para o período 1964-93) e nas previsões (entre 1994 a 1999), é essencial que sejam estudados, no sentido de conduzir a futuros aprimoramentos no modelo estocástico de previsão; em princípio, mediante sua substituição por uma outra versão dotada de maior confiabilidade, se for o caso. Esses “desvios” são usuais no contexto de tais modelos. Mas, somente se apreciáveis, é que então devem considerar-se como erros de previsão propriamente ditos.

Através da Tabela 2 verificou-se que, teoricamente, o atual Modelo é de boa qualidade, em termos dos percentuais da explicação da variância, indo de $R^2 = 86,7\%$ (para o Litoral 1) até $R^2 = 75,5\%$ (para o Sertão Central + Inhamuns) e $R^2 = 56,5\%$ (para o Cariri).

Tabela 3. Estimativas pontuais e valores observados para a chuva no quadrimestre fevereiro-maio de 1997 e 1998, nas regiões pluviometricamente homogêneas no Estado do Ceará¹.

Região Pluviometricamente Homogênea	1997		1998	
	Estimado (mm)	Observado (mm)	Estimado (mm)	Observado (mm)
Litoral 1 (Norte)	519,1 (MS ← S)	537,7 (MS ← S)	423,3 (MS)	473,3 (MS)
Litoral 2	417,9 (MS)	510,7 (MS → S)	476,5 (MS)	383,4 (MS)
Litoral 3 (Fortaleza)	493,7 (MS)	781,8 (S → N)	625,8 (MS ← S)	514,0 (MS)
Maciço de Baturité	459,7 (MS)	542,4 (MS → S)	630,5 (S)	401,6 (MS)
Ibiapaba	522,0 (MS → S)	791,6 (N -)	465,3 (MS)	417,6 (MS)
Jaguaribana	338,8 (MS)	483,0 (S)	517,4 (S)	210,9 (MS)
Sertão Central + Inhamuns	357,2 (MS/S)	528,9 (N)	311,1 (MS)	246,1 (MS)
Cariri ²	557,2 (MS ← S)	551,5 (MS ← S)	476,3 (MS)	543,0 (MS → S)

¹ Previsão utilizando os dados das variáveis preditivas até janeiro/fevereiro; MS = muito seco; S = seco;

N = normal; cf. Xavier & Xavier (1998/1999);

² Cariri: previsão e valores observados da chuva em janeiro-abril.

No caso do Litoral 1, esse valor $R^2 = 86,7\%$, de fato, corresponde a um elevado coeficiente de correlação entre os valores ajustados e aqueles observados, no período 1964-1993, a saber $R = 0,93$. Mesmo com respeito ao Cariri, o valor $R^2 = 56,5\%$ dá-nos um coeficiente de correlação que é da ordem de $R = 0,75$. Não obstante, em alguns anos, os desvios podem se tornar apreciáveis e conduzem a “erros” de previsão.

Uma análise que não chegou a ser empreendida, refere-se à investigação dos motivos para a ocorrência, em determinados anos, desses “erros”; os quais poderão dever-se, em parte, à atuação de sistemas atmosféricos não contemplados no Modelo, como é o caso do efeito das chamadas “ondas de leste” e, ainda, de “vórtices”, etc. No caso do Cariri, já foi mencionada a possível influência (direta ou indireta) das “frentes frias” do sul.

Nas Figuras 8 e 9, mostra-se toda a evolução dos valores observados da chuva contra os valores ajustados (entre 1964 e 1993) e previstos (entre 1994 e 1999). Na primeira dessas figuras, os gráficos para as sub-regiões do Litoral; na outra, para as demais regiões.

Uma constatação circunstancial refere-se ao fato de que mesmo com a ocorrência de tais “desvios” (ou “erros”) no ajuste ou na previsão, as

duas linhas acabam por apresentarem, basicamente, um idêntico “movimento”. Ou seja, em geral, a linha representando os valores ajustados ou previstos acompanha de perto a linha para os valores observados da chuva.

Note-se que sobre as duas figuras (que comportam um total de oito gráficos) as duas linhas chegam quase a confundir-se nos sub-períodos para os quais os “desvios” são pouco apreciáveis. Porém, no caso de “desvios” (ou de “erros”) mais importantes ou significativos, tornam-se facilmente identificáveis por um afastamento perceptível entre as linhas. Assim, em 1974, predominantemente muito chuvoso, ocorre uma subestimativa com respeito a todas as sub-regiões no “Litoral” (Figura 8). O mesmo, em 1984, ano ainda predominantemente muito chuvoso. Tais discrepâncias, em 1974 e 1984, são ainda sentidas para as demais regiões (Figura 9). No “Cariri”, ocorrem discrepâncias entre os anos 1975 e 1978. Finalmente, para as “previsões”, ocorreram também subestimativas em 1995 e 1996, com respeito a praticamente todas as sub-regiões.

Esta análise diz respeito, apenas, ao comportamento entre os valores observados e suas estimativas pontuais. Com efeito, erros ou acertos nos ajustes ou previsões devem ser avaliados em

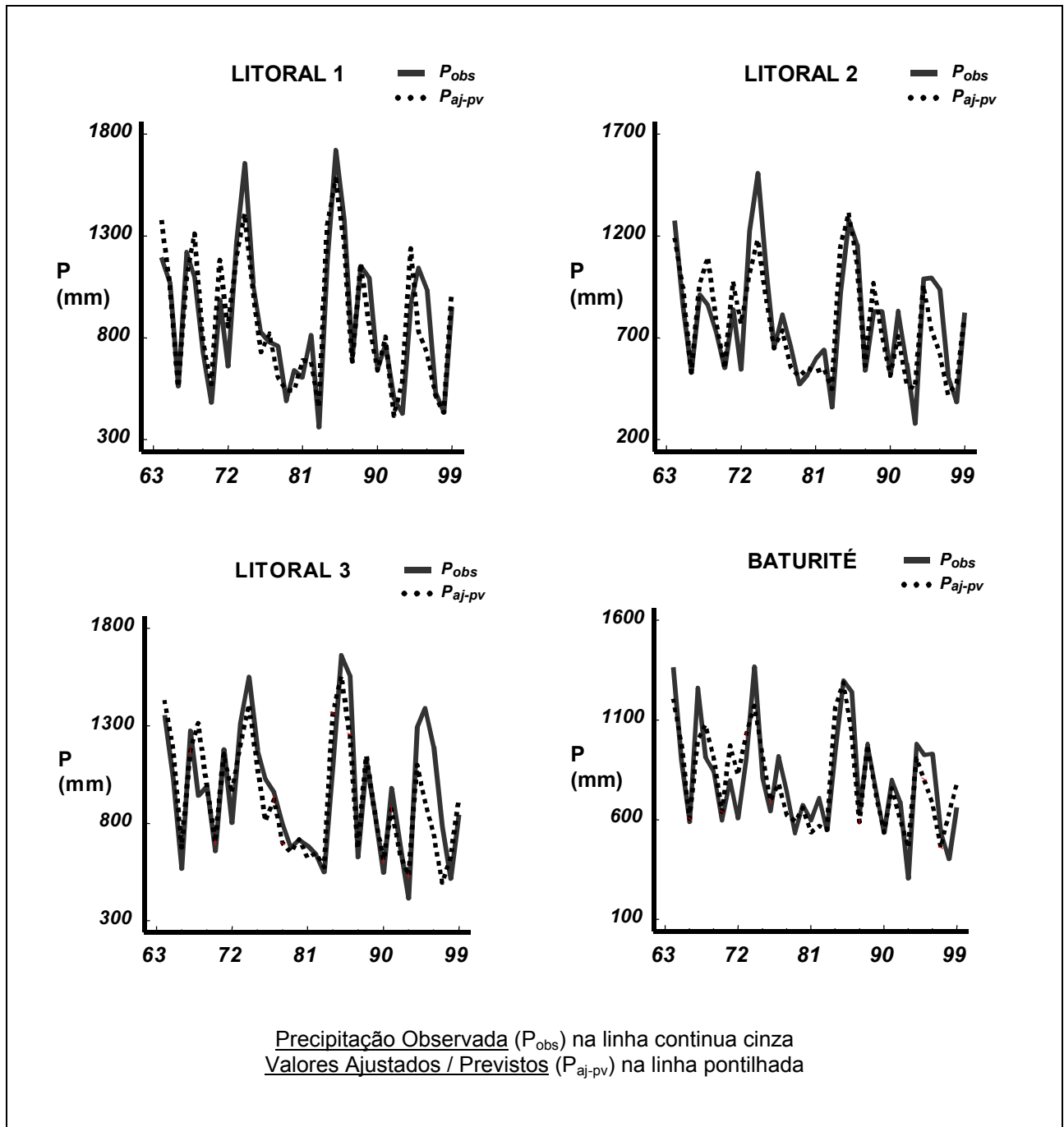


Figura 8. Regiões: Litoral 1, 2, 3 e Baturité - ajuste 1964-93, previsão 1994-99.

termos, não só das estimativas pontuais, porém no que ainda se refere às estimativas intervalares (representadas pelos intervalos de confiança ao nível de 95%). Essa última modalidade de análise não é aqui explorada pois, além de longa, ainda extrapolaria ao desiderato do trabalho; que se restringe, em princípio, a uma avaliação da previsão para os últimos três anos, 1997, 1998 e 1999. Con-

tudo, para 1999, os acertos ou erros são também considerados em termos das estimativas intervalares, como na Tabela 2 e na Figura 4.

Cabe, sem dúvida, novamente chamar atenção para o fato de que os anos secos ou muito secos costumaram ser identificados mais corretamente no processo de ajuste (1964-93) ou subsequente previsão (1994-99).

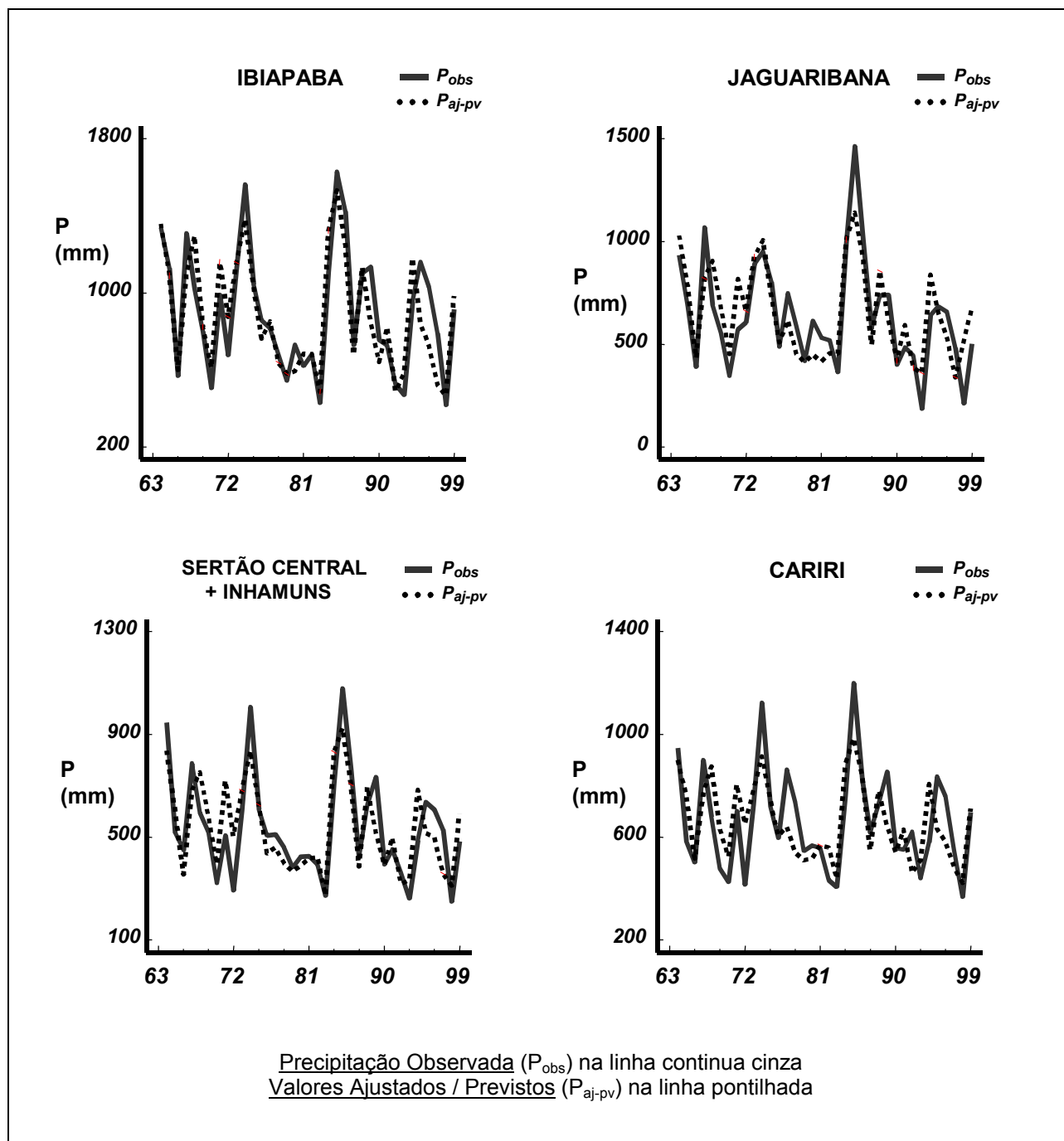


Figura 9. Ibiapaba, Jaguaribana, S. Central e Cariri - ajuste 1964-93, previsão 1994-99.

ZCIT no Atlântico, 1997, 1998, 1999

Um dos mecanismos atmosféricos mais importantes para a indução de chuva sobre o nordeste brasileiro setentrional e, em particular no Estado do Ceará, diz respeito à “descida” ou “in-cursão” da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) ao sul da linha do equador. Por outro lado, tal

fenômeno mostra-se ainda associado a um enfraquecimento da componente meridional do vento nas proximidades da costa do nordeste, como ficou enfatizado em Xavier & Xavier (1997, op. cit.) e Xavier et al. (1998, op. cit.).

Torna-se, pois, muito instrutivo examinar como se comportou a ZCIT em termos das suas posições latitudinais, durante as “quadras chuvosas” desses três últimos anos, 1997, 1998 e 1999.

Nos trabalhos citados, em especial, havia sido comparado o comportamento entre um ano de seca extrema (1993) e outro excepcionalmente chuvoso (1974). Aqui, nas Figuras 10, 11 e 12, nas páginas seguintes, são mostradas as posições mensais médias, latitudinais, da ZCIT sobre o Atlântico intertropical, em 1997, 1998 e 1999, de janeiro a junho.

Para comparações com o ocorrido em outros anos, como 1983 e 1993 (de secas extremas), 1974 e 1984 (anos muito chuvosos), bem como, em anos normais, remete-se a Xavier et al. (1999), *Atlas da Posição Média Mensal da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) sobre o Oceano Atlântico: 1964-1999*, em Cadernos Atena, versão preliminar.

No ano de 1997, conforme a Figura 10, denota-se que em janeiro e fevereiro a ZCIT ainda não havia descido (em termos das suas posições latitudinais médias) ao sul da linha do equador. Já em março e abril, denota-se uma incursão da ZCIT poucos graus abaixo do equador, a saber $1,4^{\circ}$ S e $2,0^{\circ}$ S, respectivamente, sobre o meridiano de 39° W (que passa próximo à localidade Acaraú-Ceará); bem como, $0,8^{\circ}$ S e $0,4^{\circ}$ S, respectivamente, sobre o meridiano 37° W. Note-se que todos esses valores para as posições latitudinais da ZCIT são obtidos por interpolação. Trata-se de padrão que é muito característico para anos pouco chuvosos, como realmente ocorreu em 1997, de acordo com a Tabela 3.

Já em 1998, de acordo com a Figura 11, observa-se que a ZCIT não incursionou ao sul da linha do equador, em geral, durante o primeiro semestre, exceto em janeiro ($2,0^{\circ}$ S e $0,8^{\circ}$ S, sobre os meridianos 39° W e 37° W, respectivamente) e março ($0,7^{\circ}$ S e $0,8^{\circ}$ S, sobre os meridianos 39° W e 37° W), quando então ocorreram algumas chuvas no nordeste setentrional e, em particular, sobre as diversas regiões pluviometricamente homogêneas, no Ceará. Esses últimos resultados se coadunam, por exemplo, com os totais acumulados mensais da chuva que foram observados no Litoral 3 (ou "Litoral de Fortaleza"), a saber: $187,8$ mm em janeiro e 263 mm em março, contra $68,0$ mm em fevereiro e $100,9$ mm em abril. O padrão observado, para as posições da ZCIT, é compatível com um ano de chuvas escassas, como foi 1998. Note-se que não estavam disponíveis os dados para a componente meridional da pseudo-tensão do vento no mês de maio, de sorte que para esse mês não foi possível determinar a posição da ZCIT e, assim, sobre o gráfico correspondente ficam marcados os valores 888 que aqui se interpretam como dados numéricos "missing" (ou "faltantes").

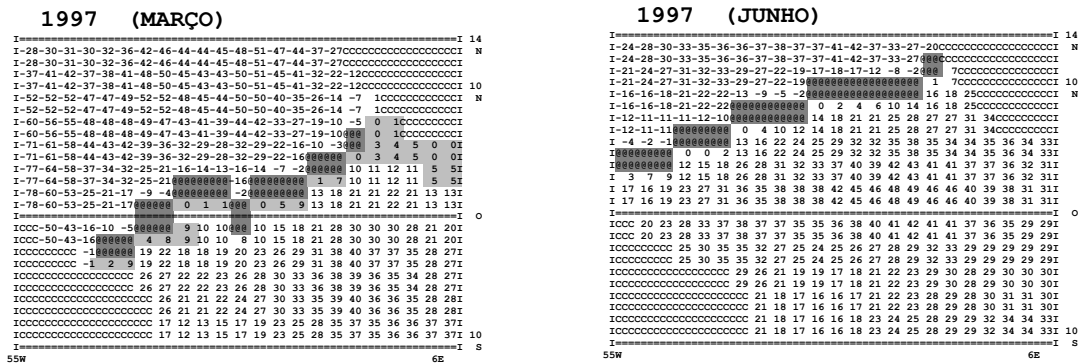
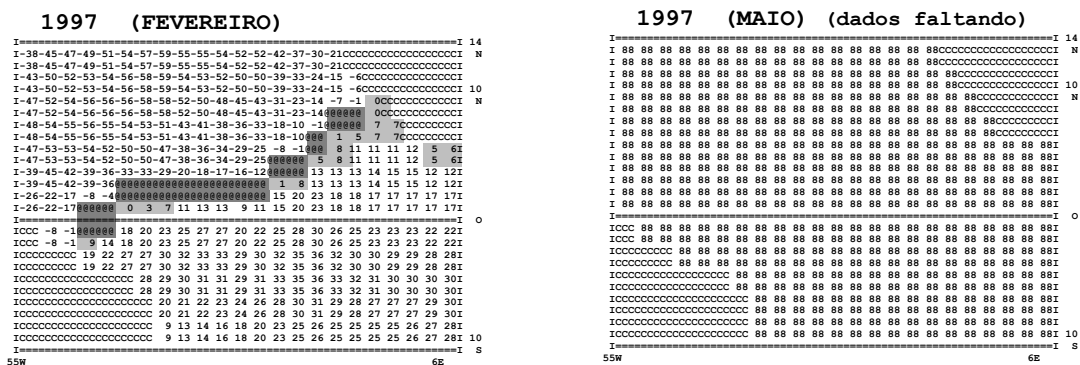
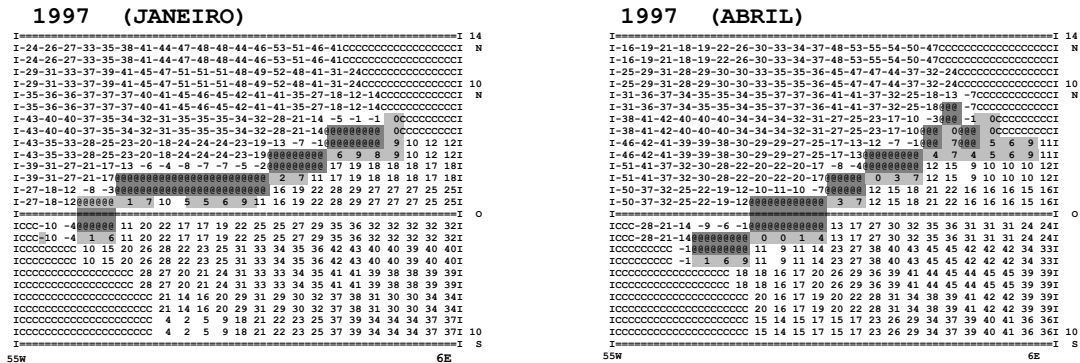
Finalmente, em 1999, conforme se verifica na Figura 12, denota-se uma incursão da ZCIT ao sul da linha do equador, de fevereiro a abril, cujo maior aprofundamento dá-se, exatamente, no mês de março. Trata-se de padrão do posicionamento da ZCIT compatível com um ano "normal", ou seja, um ano cuja pluviometria na quadra chuvosa situa-se entre as categorias "seco" e "chuvoso".

CONCLUSÕES

Cabe mencionar que todos os modelos, numéricos ou probabilísticos, atualmente em estágio de operacionalização nos centros internacionais de previsão climática (UKMO - UK Meteorological Office - Inglaterra, NCEP-USA, CPTEC/INPE-Brasil, etc.), são ainda tidos como "experimentais", de sorte que tais previsões devem ser tomadas apenas como indicativos, por estarem ainda sujeitas a erros, em geral difíceis de tratar. Assim, o UKMO assinala muito claramente nos documentos em que divulga suas previsões para o nordeste brasileiro, o seguinte: "*these forecasts are experimental and should be used with caution*". Os resultados aqui mostrados não fogem a essa regra geral, embora os testes realizados para as três últimas quadras chuvosas, de 1997, 1998 e 1999, aqui descritos, tenham conduzido a resultados muito promissores. Bem como, no que concerne ao exame dos desvios no ajuste dos modelos (*fitting*) ao longo de 1964-93 e também para as previsões (*forecasting*) ao longo de 1964-99.

De fato, na última década, muitos progressos foram alcançados no campo da previsão climática, a partir de uma análise criteriosa e objetiva sobre acertos e erros cometidos nessas previsões. Decerto, cabe diferenciar a previsão climática, esta de médio ou longo prazo, da previsão do tempo, com prazo de horas, até dias.

Com respeito à previsão de um ano Normal em 1999, para a maioria das regiões cearenses, tal se confirmou. Ora, deve-se porém ter em mente que, acima desta faixa de "normalidade", localizam-se as "categorias" propriamente ditas de Chuvoso (C) e Muito Chuvoso (MC) e, abaixo, as "categorias" propriamente ditas de Seco (S) e Muito Seco (MS). De sorte que a inclusão na categoria "Normal", apenas significa que as chuvas tenderiam a se distribuir em torno da "mediana" (ou da "média") regional calculada ao longo de 1964-1996, em cada caso, com respeito às várias regiões. Aliás, devido à grande variabilidade espacial da chuva, seria de esperar que, dentro de uma mesma região, certas localidades pudessem ser contempladas com chuvas mais escassas e outras com chuvas



Áreas continentais
= ZCIT (Zona de Convergência Intertropical)
= Componente Meridional enfraquecida

Figura 1 . Componente meridional da pseudo-tensão do vento (m²/seg² valor positivo comp. meridional aponta para o N negativo para o S) no Atlântico intertropical e a ZCIT (janeiro a junho de 1997).

[illegible][illegible][illegible][illegible]

```

I-          1          2          3          4          5          6          7          8          9         10         11         12         13         14         15         16         17         18         19         20         21         22         23         24         25         26         27         28         29         30         31         32         33         34         35         36         37         38         39         40         41         42         43         44         45         46         47         48         49         50         51         52         53         54         55         56         57         58         59         60         61         62         63         64         65         66         67         68         69         70         71         72         73         74         75         76         77         78         79         80         81         82         83         84         85         86         87         88         89         90         91         92         93         94         95         96         97         98         99         100         101         102         103         104         105         106         107         108         109         110         111         112         113         114         115         116         117         118         119         120         121         122         123         124         125         126         127         128         129         130         131         132         133         134         135         136         137         138         139         140         141         142         143         144         145         146         147         148         149         150         151         152         153         154         155         156         157         158         159         160         161         162         163         164         165         166         167         168         169         170         171         172         173         174         175         176         177         178         179         180         181         182         183         184         185         186         187         188         189         190         191         192         193         194         195         196         197         198         199         200         201         202         203         204         205         206         207         208         209         210         211         212         213         214         215         216         217         218         219         220         221         222         223         224         225         226         227         228         229         230         231         232         233         234         235         236         237         238         239         240         241         242         243         244         245         246         247         248         249         250         251         252         253         254         255         256         257         258         259         260         261         262         263         264         265         266         267         268         269         270         271         272         273         274         275         276         277         278         279         280         281         282         283         284         285         286         287         288         289         290         291         292         293         294         295         296         297         298         299         300         301         302         303         304         305         306         307         308         309         310         311         312         313         314         315         316         317         318         319         320         321         322         323         324         325         326         327         328         329         330         331         332         333         334         335         336         337         338         339         340         341         342         343         344         345         346         347         348         349         350         351         352         353         354         355         356         357         358         359         360         361         362         363         364         365         366         367         368         369         370         371         372         373         374         375         376         377         378         379         380         381         382         383         384         385         386         387         388         389         390         391         392         393         394         395         396         397         398         399         400         401         402         403         404         405         406         407         408         409         410         411         412         413         414         415         416         417         418         419         420         421         422         423         424         425         426         427         428         429         430         431         432         433         434         435         436         437         438         439         440         441         442         443         444         445         446         447         448         449         450         451         452         453         454         455         456         457         458         459         460         461         462         463         464         465         466         467         468         469         470         471         472         473         474         475         476         477         478         479         480         481         482         483         484         485         486         487         488         489         490         491         492         493         494         495         496         497         498         499         500         501         502         503         504         505         506         507         508         509         510         511         512         513         514         515         516         517         518         519         520         521         522         523         524         525         526         527         528         529         530         531         532         533         534         535         536         537         538         539         540         541         542         543         544         545         546         547         548         549         550         551         552         553         554         555         556         557         558         559         560         561         562         563         564         565         566         567         568         569         570         571         572         573         574         575         576         577         578         579         580         581         582         583         584         585         586         587         588         589         590         591         592         593         594         595         596         597         598         599         600         601         602         603         604         605         606         607         608         609         610         611         612         613         614         615         616         617         618         619         620         621         622         623         624         625         626         627         628         629         630         631         632         633         634         635         636         637         638         639         640         641         642         643         644         645         646         647         648         649         650         651         652         653         654         655         656         657         658         659         660         661         662         663         664         665         666         667         668         669         670         671         672         673         674         675         676         677         678         679         680         681         682         683         684         685         686         687         688         689         690         691         692         693         694         695         696         697         698         699         700         701         702         703         704         705         706         707         708         709         710         711         712         713         714         715         716         717         718         719         720         721         722         723         724         725         726         727         728         729         730         731         732         733         734         735         736         737         738         739         740         741         742         743         744         745         746         747         748         749         750         751         752         753         754         755         756         757         758         759         760         761         762         763         764         765         766         767         768         769         770         771         772         773         774         775         776         777         778         779         780         781         782         783         784         785         786         787         788         789         790         791         792         793         794         795         796         797         798         799         800         801         802         803         804         805         806         807         808         809         810         811         812         813         814         815         816         817         818         819         820         821         822         823         824         825         826         827         828         829         830         831         832         833         834         835         836         837         838         839         84
```

[illegible]

- = Áreas continentais
- = ZCIT (Zona de Convergência Intertropical)
- = Componente Meridional enfraquecida

Figura 11. Componente meridional da pseudo-tensão do vento (m^2/seg^2 valor positivo comp. meridional aponta para o N negativo para o S) no Atlântico intertropical e a ZCIT (janeiro a junho de 1998).

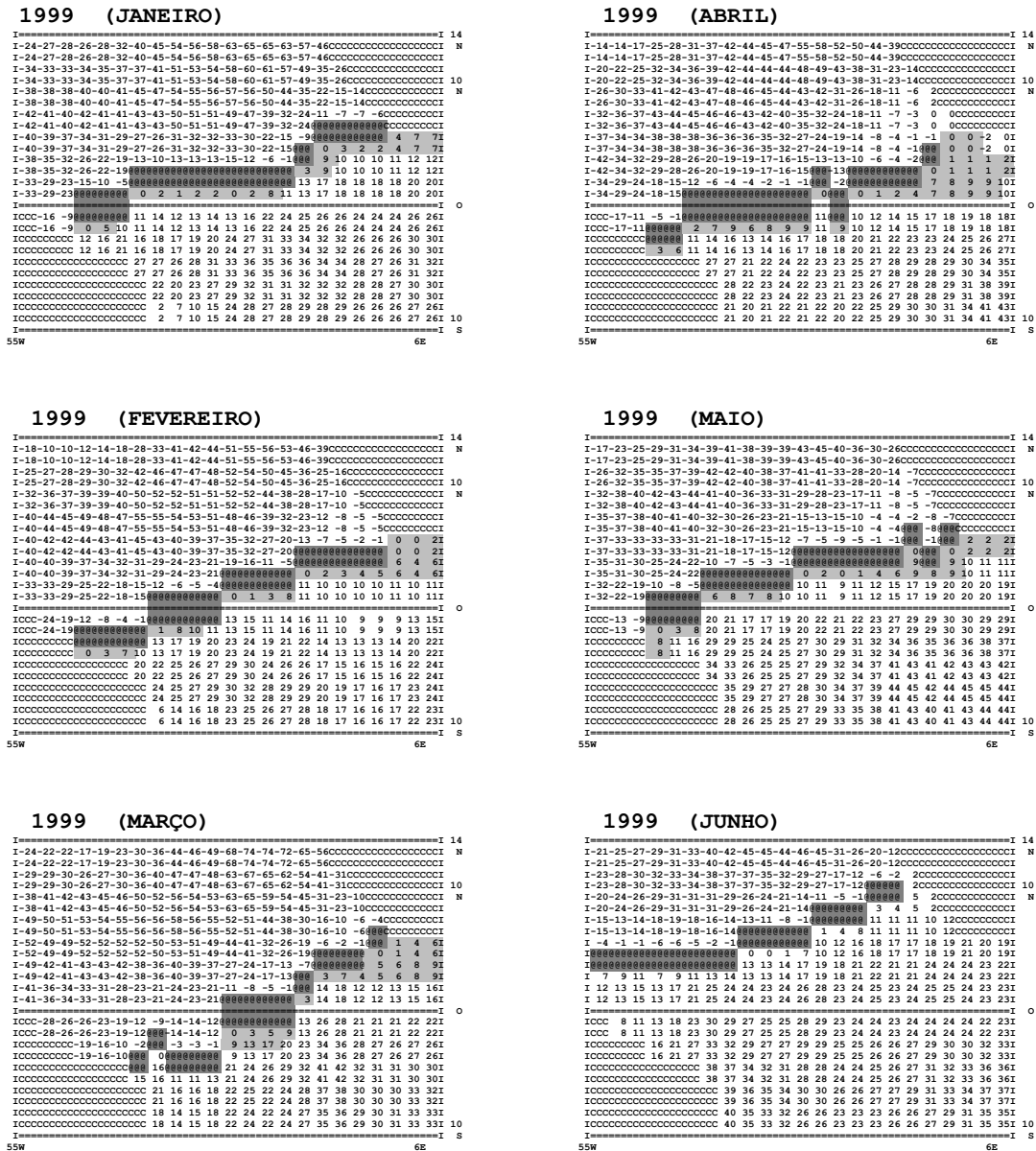


Figura 12. Componente meridional da pseudo-tensão do vento (m²/seg² valor positivo comp. meridional aponta para o N negativo para o S) no Atlântico intertropical e a ZCIT (janeiro a junho de 1999).

mais copiosas, o que na verdade ocorreu a partir de um levantamento feito, individualmente, para os 93 postos mencionados.

Por outro lado, para um ano Muito Seco (MS) como foi 1998 (a partir do mês de fevereiro), chuvas na categoria Normal no ano seguinte ou seja, em 1999, decerto seriam insuficientes para a reposição das reservas hídricas e, principalmente, no que concerne ao volume total de água armazenada nos reservatórios (açudes) públicos; o que ficou evidenciado, finda a quadra chuvosa, com o retorno de uma situação preocupante para muitos dos municípios cearenses.

Ademais, naquelas regiões de menor índice pluviométrico no Estado do Ceará, decerto que um ano Normal já chega a ser limitante para as culturas e até para o abastecimento humano. Basta verificar na Tabela 2 que, no Litoral 3 (compreendendo a região metropolitana de Fortaleza), a média e a mediana calculadas no período 1964-96 são iguais a 979,0 e 982,7 mm, respectivamente, enquanto para a região do Sertão Central + Inhambuns a média e a mediana correspondem a 547,4 e 507,5 mm, no mesmo período, ou seja, quase a metade.

Um resultado a ser mais uma vez salientado é que, retrospectivamente, no contexto do modelo aqui considerado, os anos mais secos entre 1964 e 1993 foram em geral também corretamente captados, como tais, no contexto dos ajustes feitos para as diversas regiões. Por outro lado, também 1997 e 1998 foram corretamente previstos como anos secos. Assim, discrepâncias nos ajustes e/ou erros de previsão, foram maiores para os anos chuvosos ou muito chuvosos.

Mencione-se que estão sendo desenvolvidos modelos análogos de previsão, para a chuva nas bacias hidrográficas do Estado do Ceará. De fato, estudos sobre a explicação e a previsão da chuva ao nível das bacias hidrográficas passam agora a assumir um significado especial: 1) pelo interesse em acoplar entre si as análises dos fenômenos hidrológicos e atmosféricos; 2) em termos práticos, em vista da implementação de um plano estadual de interligação de bacias que privilegia as transferências de água com o fim de suprir deficiências hídricas locais. Dessa forma, estudos como esse ganham em importância e também em prioridade, desde que poderão fornecer subsídios científicos e técnicos indispensáveis ao gerenciamento das reservas hídricas.

Finalmente, deverão ser continuadas essas pesquisas, visando não só a melhoria das previsões feitas com covariáveis preditivas (independentes) medidas até fevereiro de cada ano, como também no que concerne às previsões designadas

como "precoces", isto é, aquelas feitas com maior antecedência.

De acordo com um velho aforisma, a condição para ser um "bom profeta" seria possuir uma "boa memória" (atribuído a *Lord Hallifax*, citado pelo *Dr. B. D. Stephenson*, pesquisador da METEO-FRANCE). Assim, qualquer modelo razoável de previsão deveria, em princípio, incorporar dados do passado para um período suficientemente longo. Decerto, na prática da previsão climática, há certos óbices para um tal desiderato. Em primeiro lugar, alguns dados somente começaram a ser coletados mais recentemente, na dependência dos últimos avanços tecnológicos; por exemplo, aqueles obtidos a partir de sensores instalados em satélites, em boias oceânicas, etc. Por outro lado, mesmo quando sua disponibilidade possa recuar no tempo, não está garantido que os dados mais antigos possuam a mesma qualidade daqueles mais recentes, além da possibilidade de existirem falhas com respeito a alguns períodos.

Muito particularmente, é o caso dos dados da TSM (Temperatura da Superfície do Mar) no oceano Atlântico. Com efeito, esses dados existem desde o final do século XIX. Mas não possuíam, no passado, qualidade e ainda densidade espacial suficiente permitindo o cálculo (ou interpolação) para todos os "pontos de grade". Assim, resulta que num ponto em torno do qual não existam outros pontos próximos contendo observações efetivas da TSM, restariam estas três possibilidades: i) considerar o dado respectivo como faltante (*missing*); ii) substituir o dado pela sua "climatologia" ou; iii) fazer a interpolação a partir de pontos mais distanciados, se for o caso, mas que também não é desejável. Aliás, tais são os motivos pelos quais os dados do Dr. Jacques Servain, do IRD (ORSTOM), Centro da Bretanha, só começam em 1964. Além disso, nos anos de duração das I e II Guerras Mundiais, tornou-se praticamente inexistente o trânsito de navios mercantes no Atlântico, donde ficaram extremamente rarefeitas as observações. Tudo isso, sem dúvida, também se aplica ao caso do Pacífico. Além do mais, quando de mudanças climáticas ocorridas no passado que possam ter afetado o comportamento das variáveis envolvidas, cria-se também um óbice para sua utilização, ao serem os dados recuados no tempo.

Contudo, tenta-se retroceder os dados das covariáveis preditivas (independentes) e, obrigatoriamente, da variável resposta que é a chuva, até pelo menos 1950. Porém, esse é um trabalho demorado e, além disso, a principal dificuldade até ao momento consiste na obtenção dos dados de vento sobre o Atlântico. Ademais, ainda restaria a possibilidade de testar outras covariáveis possuindo

algum potencial preditivo, em especial os campos de pressão atmosférica sobre o Atlântico. Bem como, ainda sendo consideradas outras áreas utilizadas pelo Dr. Jacques Servain, no Atlântico, para a definição do “dipolo”.

A última previsão suposta confiável para a “quadra chuvosa” no Ceará (chuva acumulada de fevereiro a maio) e que foi aqui explorada mais detalhadamente, faz-se a partir dos dados das covariáveis preditoras medidas no bimestre janeiro-fevereiro, o que implica evidentemente numa superposição temporal das medidas dos preditores e da variável resposta para o mês de fevereiro. Contudo, a previsão é feita para o conjunto dos quatro meses e, além disso, os maiores volumes de chuva costumam cair a partir de março; além disso, em fevereiro não é incomum a ocorrência de “veranicos”. Ademais, leve-se em conta que a espera para a definição do “inverno” no Ceará, tradicionalmente, costuma adentrar no mês de março.

Faz-se necessário lembrar que se a previsão nos dá a estimativa da precipitação no período de fevereiro a maio, porém, não nos diz como irá se repartir ao longo desse período. Nessa direção, os autores estão agora pesquisando a variabilidade espacial e temporal da chuva durante a quadra chuvosa, por decêndios, no sentido de ser obtida uma climatologia, válida para situações peculiares, tais como: i) contrapondo os anos de “El Niño” aos de “La Niña”; ou ii) anos em que o dipolo se constitui no Atlântico intertropical e aqueles em que o dipolo fica invertido.

Finalmente, cabe ainda lembrar que devido à grande variabilidade na bacia do Atlântico intertropical, não é infrequente que condições propícias para chuvas no Ceará, como a formação do “dipolo”, possam esperar para ficarem definidas somente entre fevereiro e março, com excessão do que ocorre em anos muito chuvosos. Além disso, apesar de que as condições no Pacífico já possam estar definidas a partir do último bimestre do ano anterior, na verdade é a situação no Atlântico que vai determinar a “quadra chuvosa” no nordeste setentrional e, em particular, no Estado do Ceará. Ademais, é falso que uma condição de El Niño no Pacífico vá necessariamente implicar em seca no Ceará, a menos da ocorrência de um “evento quente” no Pacífico excepcionalmente forte.

Uma possibilidade para retroagir até a uma previsão precoce mais segura, seria o caso de se dispor de uma previsão igualmente precoce para as próprias condições do Atlântico. Assim, sem dúvida, esta seria uma vertente de pesquisa que mereceria ser ensaiada. Embora se deva advertir para as dificuldades e também os perigos para uma previsão que incorporasse outra previsão.

Cabe na verdade uma advertência, de que cada “modelo de previsão” considerado neste artigo está “regionalizado”, ou seja, é rodado em separado para cada região “pluviometricamente homogênea” do Estado do Ceará; ao contrário da maioria de outros modelos, os quais cobrem uma área relativamente grande, em geral todo o nordeste setentrional brasileiro. Ora, o que tornou tal regionalização possível foi, em parte, o trabalho de “classificação” introduzido através da “técnica dos quantis”.

Em consequência, esperar-se-ia que erros pudessem ocorrer, devido ao fato dos sistemas atmosféricos intervenientes serem muito mais amplos (globais ou hemisféricos) em comparação às áreas geográficas das regiões para as quais se empreende as previsões. Não obstante, trata-se de uma experiência que vale à pena continuar desenvolvendo, tendo em vista os resultados muito promissores até agora obtidos. Porém, deve-se lembrar que uma previsão mais detalhada sob o ponto de vista espacial, digamos, a nível dos municípios, seria muito temerária e sem dúvida encontra-se completamente fora de cogitações.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Jacques Servain, do IRD (ex-ORSTOM), Centro da Bretanha – França, não só pela cessão dos dados da TSM e da Pseudo-Tensão do Vento no Atlântico, como também pelo encorajamento ao longo de tantos anos. Ao CNPq, pelo apoio através de bolsas de pesquisa e o financiamento de diversos projetos, desde a década de 80; como, também, à FAPESP - São Paulo e à FUNCAP - Ceará. À SUDENE, em especial à equipe técnica que se encarregava de fazer a gestão do seu “Banco de Dados Hidro-meteorológicos”; ainda, ao DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, pela excelente acolhida propiciada e facilidades de acesso ao seu Banco de Dados, da parte dos seus diretores e técnicos. Finalmente, é oportuno ressaltar o estímulo ultimamente encontrado junto à FUNCEME, na pessoa do seu Presidente, Dr. Roberto Sérgio Farias de Souza, como de toda a equipe técnica dos Departamentos de Meteorologia e de Apoio Tecnológico, desse órgão.

Cabe por fim mencionar que a designação emblemática para o Projeto, “*Tempo de Chuva*”, coincidiu com o título de um livro do poeta cearense Horácio Dídimo Vieira, portanto uma muito feliz circunstância.

REFERÊNCIAS

- BOJARIU, R. (1977) "Climate Variability Modes due to Ocean-Atmosphere Interaction in the Central Atlantic" *TELLUS*, Vol. 49A, p. 362-370.
- CAVIEDES, C. N. (1973) "Sêcas and El-Niño: Two Simultaneous Climatic Harzards in South America" *Proc. Assoc. Amer. Geograph.*, Vol. 5, p. 44-9.
- HASTENRATH, S. (1976) "Variations in Low-Latitude Circulation and Extreme Climatic Events in the Tropical Americas" *Journal of Atmosph. Sciences*, Vol. 33, p. 202-15.
- HASTENRATH, S. & HELLER, L. (1977) "Dynamics of Climatic Harzards in Northeast Brazil" *Quart. J. Royal Meteorological Soc.*, Vol. 103, p. 77-92.
- HASTENRATH, S. (1978) "On modes of Tropical Circulation and Climate Anomalies" *Jour. of Atmosph. Sciences*, Vol. 35, p. 2222-31.
- HASTENRATH, S., WU, M.-C. & CHU, P.-S. (1984) "Towards the Monitoring and Prediction of North-East Brazil Droughts" *Quart. J. Royal Meteorological Soc.*, Vol. 100, p. 411-25.
- HASTENRATH, S & GREISCHAR, L. (1993) "Further Work on the Prediction of Northeast Brazil Rainfall Anomalies" *Journal of Climate*, Vol. 6, p. 743-58.
- HUMBOLDT, A. Von (1843-1858) "Kosmos" (volumes consecutivos publicados nesse período; existe uma tradução para o espanhol pela editora Espasa-Calpe, sobre material relativo a "Geomagnetismo, Oceanos e Atmosfera").
- HUANG, B. & SHUKLA, J. (1996) "A Comparison of Two Surface Wind Stress Analysys over the Tropical Atlantic During 1980-1987" *Journal of Climate*, Vol. 9, p. 906-27.
- INPE (1980) "Contribuição ao Estudo da Previsão de Sêcas e Modificação Artificial do Tempo e do Clima do Nordeste Brasileiro" In: Relatório INPE – 1812 - RPE/180 (vários autores), São José dos Campos - SP, Junho de 1980, 92p.
- KOUSKY, V. E. (1980) "Sobre o Uso de Análise Harmônica da Precipitação de Fortaleza para Previsão de Precipitação no Nordeste" In: INPE (1980), p. 41-8.
- MARKHAM, C. G. & Mc LAIN, D. R. (1977) "Sea Surface Temperature Related to Rain in Ceará, North-Eastern Brazil" *Nature*, Vol. 265, p. 320-3.
- MOURA, A. D. & SHUKLA, J. (1981) "On the Dynamics of Droughts in North-East Brazil: Observations, Theory, and Numerical Experiments with a General Circulation Model" *Journal of Atmosph. Sciences*, Vol. 38, p. 2653-75.
- NAMIAS, J. & CAYAN, D. R. (1981) "Large-Scale Air-Sea Interactions and Short-Period Climatic Fluctuations" *Science*, Vol. 214, p. 869-76.
- NOBRE, P. (1993) "On the Genesis of Anomalous SST and Rainfall Patterns Over the Tropical Atlantic Basin" Department of Meteorology, University of Maryland at College Park, Ph. D. Thesis, 151p.
- PICAUT, J., SERVAIN, J. et al. (1985) "Climatic Atlas of the Tropical Atlantic Wind Stress and Sea Surface Temperature 1964-1979" Univ. de Bretagne Occidentale - Laboratoire d'Océa-nographie Physique / University of Hawai-Joint Institute for Marine and Atmospheric Research, 467p.
- PINKAYAN, S. (1966) "Conditional Probabilities of Occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area" *Hidrology Papers*, n.12, Colorado State University, Boulder - Co, 53p.
- RAO, V. B., CHAPA, S. R. & FRANCHITO, S. H. (1999) "Decadal Variations of Atmosphere - Ocean Interaction in the Tropical Atlantic and its Relationship to the Northeast Brazil Rainfall" *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 77, n. 1, p. 63-75.
- SERVAIN, J., PICAUT, J. et al (1984) "A 16 Year Series of Observations of Sea Surface Temperature and Wind Stress Field in the Tropical Atlantic" In: Intergovernmental Oceanographic Commission-Technical Series: *Time Series of Ocean Measurements*, Vol. 2 – UNESCO.
- SERVAIN, J., PICAUT, J. et al (1985) "Interannual and Seasonal Variability in the Tropical Atlantic Ocean Depicted by Sixteen Years of Sea-Surface Temperature and Wind Stress" In: J. C. J., Editor, *Coupled Ocean-Atmophere Models*, Ch. 16, p. 211-37 - Elsevier Publ., Amsterdam.
- SERVAIN, J. (1985) "Telleconnection from the Tropical Atlantic" In: CCCO Pannel on Tropical Atlantic Ocean Climate Studies - 3ème Session, Rio de Janeiro 9-13 september 1985, Report United Nations-CCCO, Paris.
- SERVAIN, J. (1986) "Correlation entre l'Atlantique Intertropical et les Precipitations du Sahel et du Nordeste" In: Bret, Coord., Colloque, "Les Hommes Face aux Secheresses - Nordeste Brésilien et Sahel Africain", IHEAL & EST, Collection IHEAL, n. 42 / Série Thèses et Colloques N° 1 (Institut des Hautes Etudes de l'Amérique Latine, Université de Paris III / Nouvelle Sorbonne), Paris, p. 203-6.
- SERVAIN, J. (1993) "Simple Climatic Indices for the Tropical Atlantic Ocean and Some Applications" *J. Geophys. Research - Oceans*, Vol. 96, C8, p. 15137-46.
- SERVAIN, J., WAINER, I., MCCREARY JR., J. P. & DESSIER, A. (1999) "Relationship Between the Equatorial and Meridional Modes of Climatic Variability in the Tropical Atlantic" *Geophysical Research Letters*, Vol. 26, n. 4, p. 485-8.
- SPERBER, K. R. & HAMEED, S. (1993) "Phase Locking of Nordeste Precipitation with Sea Surface Temperatures" *Geophysical Res. Letters*, Vol. 20, n. 2, p. 113-6.
- SRIVATSANGAM, S. (1980) "Sobre a Previsão de Secas no Nordeste do Brasil" In: INPE (1980), p. 16-39.
- TANIMOTO, Y. (1999) "Ocean – Atmosphere Variability over the Pan-Atlantic Basin" *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 77, n. 1, p. 31-46.
- TEIXEIRA, L. & REITER, E. R. (1984) "Sea Surface Temperature, Rainfall and Southern Oscillation: Relationships Over Tropical America" *Environmental Research Papers*, n. 38, October 1984, Colorado State Univ., Fort-Collins-Co.

- WARD, M. N. & FOLLAND, C. K. (1991) “Prediction of Seasonal Rainfall in the North “Nordeste” of Brazil Using Eigenvectors of Sea-Surface Temperature” *International. J. of Climatology*, Vol. 11, p. 711-43.
- WAINER, I. & SOARES, J. (1997) “North Northeast Brazil Rainfall and its Decadal-Scale Relationship to Wind Stress and Sea Surface Temperatures” *Geophysical Research Letters*, Vol. 24, n. 3, p. 277-80.
- XAVIER, T. de Ma. B. S. (1980) “Periodicidades Pluri-Anuais na Precipitação Pluviométrica e Previsões a Longo Prazo” In: INPE (1980), p. 68-71.
- XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1981) “Periodicidades em Séries da Pluviometria Anual de Fortaleza-CE, Quixeramobim-CE e Mossoró-RGN” IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, *Anais*, Vol. 1, p. 423-41, Fortaleza-Ceará, ABRH-São Paulo.
- XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1984a) “Dry and Wet Periods Character-ization Over Droughth Polygon (“Polígono das Secas”) in Northeast Brazil” 2nd. WMO Symposium on Meteorological Aspects of Tropical Droughts, Fortaleza, CE, 1984 [versão estendida, Relatório de Pesquisa, 52p].
- XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1984b) “Classificação de Anos Secos e Chuvosos na Região NE do Brasil e sua Distribuição Espacial” III Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belo Horizonte *Anais*, Vol. 3, p. 267-75.
- XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1987a) “Aplicação de Filtragem Binária no Estudo da Ocorrência de Períodos Secos ou Chuvosos no Nordeste Brasileiro” 7^o. Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos / 3^o. Simpósio Luso-Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos, Salvador, BA, Novembro 1987, *Anais*, Vol. 2, p. 617-29.
- XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1987b) “Classificação e Monitoração de Períodos Secos ou Chuvosos e Cálculo de Índices Pluviométricos para a Região Nordeste do Brasil” *Revista Brasileira de Engenharia - Caderno de Recursos Hídricos*, Vol. 5, n. 2, p. 7-31.
- XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1989) “Caractérisation et Moniteurisation des Periodes Sèches et Pluvieuses au Nord-Est du Brésil” In: Bret, B., Coord., Colloque, “Les Hommes Face aux Secheresses - Nordeste Brésilien et Sahel Africain”, IHEAL & EST Ed., Collection IHEAL, n. 42 / Série Thèses et Colloques n. 1 (Institut des Hautes Etudes de l’Amérique Latine, Université de Paris III / Nouvelle Sorbonne), Paris, p. 93-9.
- XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1990) “Bynary Filtering for the Study of Persistence and Alternance of Dry and Wet Years in Northeast-Brazil” In: Extended Abstracts of Papers Presented at the Third WMO Symposium on Meteorological Aspects of Tropical Droughts with Emphasis on Long-Range Forecasting, Niamey-Nigeria, 30/iv-04/v 1990, WMO / TD n. 353, Geneve, p. 247-52.
- XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1995) “Modelos Lineares Generalizados na Explicação e Previsão da Chuva no Estado do Ceará (1964-91)” In: Desenvolvimento Sustentável dos Recursos Hídricos, Clarke, R. T. et al., Editores, Artigos selecionados do XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e II Simpósio de Hidráulica dos Países de Língua Oficial Portuguesa, ABRH, *Publicações* n. 1, Novembro 1995, p. 303-7.
- XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1997) “Papel da Componente Meridional do Vento na Costa do Nordeste para a Previsão da Chuva no Estado do Ceará” In: Artigos Selecionados do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16-20 Novembro 1997, Vitória-ES, *Anais*, Vol. 1, p. 537-43.
- XAVIER, T. de Ma. B. S., XAVIER, A. F. S., SILVA DIAS, P. L. da & SILVA DIAS, M. A. F. da (1998) “Papel da Componente Meridional do Vento na Costa do Nordeste Brasileiro e de Outras Covariáveis para Prever a Chuva no Estado do Ceará (1964-97)” *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Vol. 3, n. 4, p. 121-39.
- XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1998a) “Análise do Papel das Temperaturas Oceânicas no Atlântico e Pacífico, e Outras Covariáveis, nas Chuvas no Ceará” X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da FLISMET, *Anais* em CD-ROM, Brasília, Outubro 1999.
- XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1998b) “Quantis para Séries Pluviométricas do Estado do Ceará e Caracterização de Períodos Secos ou Excepcionalmente Chuvosos: 1964-1998” *Cadernos Atena*, 30 de julho de 1998, n. 8A, Fortaleza, Ceará, p. 1-33.
- XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1999) “Caracterização de Períodos Secos e ou Excessivamente Chuvosos no Estado do Ceará Através da Técnica dos Quantis: 1964-1998” *Revista Brasileira de Meteorologia*, Vol. 14, n. 2, p. 63-78.
- XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1998/1999) “Previsão Regional da Chuva no Estado do Ceará (1964-1998) e a Questão do El Niño 97/98” In Workshop sobre o El Niño 97/98, X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da FLISMET, *Anais* em CD-ROM, Brasília, Outubro de 1998, 5pp [reproduzido In: *Cadernos Atena*, 1999, N.16, Fortaleza, Ceará, p. 1-7].
- XAVIER, T. de Ma. B. S., XAVIER, A. F. S., SILVA DIAS, P. L. da & SILVA DIAS, M. A. F. da (1999) “Atlas da Posição Média Mensal da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) sobre o Oceano Atlântico: 1964-1999 (versão preliminar)” *Cadernos Atena*, 1999, n. 17, Fortaleza-Ceará.

**Regional Forecasting of the Rains for
the State of Ceará (Northeast - Brazil)
in Project "Tempo de Chuva":
1964-1999**

ABSTRACT

We consider the development and operation of stochastic models to forecast rainfall over pluviometrically homogeneous regions of the State of Ceará - Northeast Brazil. Among the main results presented here are those for the "rainy seasons" of 1997, 1998 and 1999, comparing observed and forecasted values. An analysis of errors with respect to all fitted values (training period 1964-93) and all forecasted values (1994-99) is also performed.

The models are tested at FUNCEME - State of Ceará, in the context of a research project under the first author's responsibility, named "Tempo de Chuva (Rain Time): Técnicas Estocásticas de Modelagem para a Previsão de Chuva". That project continues research begun in the 80s, with the support of several institutions and the contribution of several collaborators.

Tests of analogous models in the context of the rains over the hydrographic basins over the State of Ceará are also being considered at the present time.