

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)

Teresinha de Ma. Bezerra S. Xavier

Univ. Fed. Ceará (através do PROPAP-UFC) e FUNCEME
txavier@sec.secrel.com.br - Cc: atxavier@lia.ufc.br

Airton Fontenele Sampaio Xavier

Univ. Fed. Ceará (através do PROPAP-UFC)

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

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

RESUMO

O artigo trata da previsão da chuva no Ceará, no Semestre 1 (Janeiro-Junho) e no quadrimestre usualmente mais chuvoso (Fevereiro-Maio), via modelos estocásticos. Considera-se em particular a chuva para Fortaleza e Acaraú, no litoral, e Quixeramobim, no sertão central. Entram como covariáveis nos modelos lineares de previsão: a TSM (temperatura da superfície do mar) no Atlântico e Pacífico, as componentes meridional e zonal da "pseudo-tensão" do vento no Atlântico, o índice de oscilação Sul e a atividade solar, no último bimestre de cada ano anterior (Novembro-Dezembro) e em Janeiro. Foram obtidos elevados percentuais de explicação da variância, em especial no caso das localidades situadas no litoral. Deve-se registrar que a "pseudo-tensão" do vento revelou-se um fator importante no contexto dos modelos de explicação e/ou previsão; assim, o enfraquecimento da sua componente meridional, junto à costa do Nordeste brasileiro, associa-se muito nitidamente à descida abaixo da linha do equador da ZCIT (zona de convergência intertropical), fenômeno este, em geral responsável por chuvas regulares na área, principalmente na faixa litorânea norte. Desenvolveu-se metodologia para obter a posição média da ZCIT, cada mês, a partir da componente meridional do vento na bacia atlântica; no caso, correspondendo à confluência ao nível do mar dos alísios que usualmente sopram de NE e SE.

INTRODUÇÃO

Neste artigo trata-se o problema da previsão da chuva para o Estado do Ceará, utilizando modelos estocásticos. Estudos sobre o

assunto iniciaram-se por volta de 1985, para explicar e/ou prever a chuva no Nordeste brasileiro, particularmente no Estado do Ceará, utilizando Modelos de Regressão Múltipla "passo-a-passo" (stepwise) nos quais as covariáveis explicativas ou preditivas intervenientes, eram as temperaturas médias mensais, semestrais, trimestrais e bimestrais no Atlântico intertropical, em duas áreas situadas ao sul e ao norte da linha do equador, respectivamente, ambas próximas à costa do Nordeste brasileiro, além do índice da atividade solar, conforme Xavier et al. (1985, 1986a-b) na época. Cabe referir o apoio recebido do CNPq e SUDENE, através do "Programa do Trópico Semi-Árido". Posteriormente, deu-se continuidade a outros trabalhos na mesma linha, mediante o emprego de Modelos Lineares Generalizados (MLG), com apoio do CNPq (Xavier et al., 1988a-b, 1990, Xavier, 1989 e Cordeiro et al., 1988a-b).

Mais recentemente, passou-se a considerar os dados da TSM - Temperatura da Superfície do Mar, em áreas designadas como A e B (no Atlântico Sul, adjacentes às costas do Nordeste brasileiro e da África, respectivamente) e aquelas designadas como C e D (no Atlântico Norte, a primeira adjacente à costa da África e a outra acima do Nordeste), além de dados da atividade solar, da TSM no Pacífico (anomalias do El Niño nas áreas 1 + 2, 3, 4 e 3 + 4) e o IOS-Índice de Oscilação Sul (Xavier et al., 1995, 1997). Uma quinta área vizinha à África, designada por G, corresponde ao Golfo da Guiné. No presente trabalho, considera-se ainda, a TVS - "pseudo-tensão" ("pseudo-stress") do vento na superfície do mar nas mesmas áreas A, B, C, D e G do Atlântico, podendo adiantar-se que, desta variável vetorial, a maior influência é a exercida

pela sua componente meridional. Para delimitar tais áreas, no Atlântico e no Pacífico, remete-se à seção “Dados e Metodologia”.

Os valores pluviométricos mensais referem-se a Fortaleza e Acaraú (no litoral) e a Quixeramobim (no sertão central), no Estado do Ceará. Porém, na continuidade desta pesquisa serão incorporados dados de chuva para outras localidades do Ceará e Nordeste brasileiro, bem como índices pluviométricos para algumas sub-áreas pluviais homogêneas. Confirmando alguns dos nossos resultados precedentes, deve-se adiantar que a previsibilidade para a chuva em Quixeramobim (localidade no sertão central cearense) é menor do que para Fortaleza e Acaraú (no litoral). Para localizar esses lugares, procurar também em “Dados e Metodologia”.

Note-se que a importância das águas oceânicas sobre o clima já havia sido mencionada por von Humboldt, conforme passagem em sua obra *Kosmos* (1843-1858). De fato, a possível influência de anomalias da TSM do Atlântico intertropical sobre as chuvas do Nordeste brasileiro foi levantada por Markham & McLain (1977), bem como, Hastenrath & Heller (1977). Nessa mesma linha, registramos trabalhos subseqüentes, onde também eram levados em conta outros possíveis fatores; ver, Hastenrath (1978), Namias & Cayan (1981), Moura & Shukla (1981), Teixeira & Reiter (1984), Hastenrath, Wu & Chu (1984), sem esquecer os trabalhos de Servain, Picaut et al. (1984) (1985), Servain (1985) (1986) (1993), Ward & Folland (1991), Hastenrath & Greischar (1993) e Nobre (1993). Sobre o papel do vento de superfície no Atlântico intertropical certos aspectos haviam sido tratados, especialmente em Servain, Picaut et al. (1985) e depois na tese de Nobre, op. cit. Ainda a respeito da interação oceano-atmosfera cabe mencionar o papel da TSM no Pacífico equatorial e do IOS (eventos ENOS = “El Niño / Oscilação Sul”), conforme Caviedes (1973), Hastenrath (1976) e Hastenrath & Heller (1977).

No que concerne às possíveis relações entre o sol e as condições do tempo e do clima existe farta bibliografia; Wilcox (1976) refere a existência de mais de um milhar de publicações, somente no decorrer do século passado. No tocante ao clima do Nordeste brasileiro, a hipótese da influência do quase-ciclo de aproximadamente onze anos das manchas solares, havia sido levantada por diversos autores; ver em: CNPq-INPE (1980). Contudo, mencione-se que *Euclides da Cunha* em “Os Sertões” afirmava que raramente coincidem por inteiro os dois fenômenos, isto é, o mínimo das manchas solares e o fastígio das secas na região. De certo, a respeito do papel da atividade solar tem havido

certa relutância dos especialistas em utilizá-la no contexto da modelagem climática, sob a alegativa de não existir, ainda, modelo físico claro para sua ação. Mas se a não existência de um tal modelo dificulta ou impossibilita incorporar a atividade solar no contexto de um modelo numérico de previsão, a rigor não há impedimento para ser utilizada dentro de um modelo probabilístico. É verdade que o fluxo total da energia solar, incidente na alta atmosfera do nosso planeta, varia pouco, em função dos mínimos e máximos da atividade solar. Porém, há variações importantes em certas faixas do espectro, como o ultravioleta e, ainda, nos fluxos de partículas de alta energia, inclusive os raios cósmicos, em geral aumentados nas fases de mínimo da atividade solar. Assim, nos dias atuais, não faz tanto sentido insistir na existência de uma “constante solar”. Além do mais, em trabalhos recentes, embora de forma ainda não suficientemente elucidada, há referências a perturbações ocorrendo na estratosfera, provocadas por alterações desses fluxos, as quais poderiam propagar-se às camadas mais baixas da atmosfera (troposfera). Alguns autores levantam a hipótese de um efeito de “amplificação”. Tais questões são vistas por Lean et al. (1987), Lean (1988, 1991), Bucha (1988), Labtzi & van Loon (1993). Cabe citar o artigo de Mendonza & Pérez-Enríquez (1992) sobre as possíveis relações entre a atividade solar e o fenômeno “El Niño”, e, finalmente, Flueck & Brown (1993), que consideram critérios e métodos de avaliação nesse contexto, bem como o artigo de Dewan & Shapiro (1991) chamando atenção para dificuldades implícitas na avaliação de tais correlações.

DADOS E METODOLOGIA

Os dados mensais da TSM-Temperatura da Superfície do Mar e da TVS-“pseudo-tensão” do vento no Atlântico (para esta variável vetorial expressados através das suas componentes meridional e zonal), cedidos pelo Prof. Dr. Jacques Servain, da ORSTOM-Brest, cobrem extensa área entre 30° N e 20° S, e entre 60° W e 16° E, para o período 1964-97 (em pontos de grade de 2 em 2 graus, a menos, evidentemente, dos pontos situados sobre os continentes: América do Sul e África). Esse período, começando em 1964, torna-se obviamente limitante para o emprego dos demais dados. Os mesmos dados da TSM e TVS, para 1964-79, haviam sido previamente apresentados, na forma de cartas mensais, no Atlas editado por Picaut, J., Servain, J., et al. (1985) e então publicado sob os auspícios da “Université de Bretagne

Occidentale” - Brest - França e da “University of Hawaii” - USA.

Essas áreas consideradas no Atlântico intertropical são assim delimitadas: (i) *Área A*, pela costa do Nordeste, linha do equador, meridiano 12°W e paralelo 20°S; (ii) *Área B*, pelo meridiano 12°W, o equador, meridiano 10°E e paralelo 20°S; (iii) *Área C*, pelo meridiano 36°W, paralelo 20°N, costa da África, meridiano 12°W e linha do equador; (iv) *área D*, pela costa norte do Brasil, meridiano 58°W, paralelo 20°N, meridiano 36°W e o equador; considera-se, ainda, uma quinta área, (v) *Área G*, sob a costa da África, entre 12°W e 10°E e entre 8°N e a linha do equador (corresponde ao Golfo da Guiné). Por sua vez, a área A (resp., B) pode ser separada pelo meridiano 10°S, em sub-áreas A1 e A2 (resp., B1 e B2), sendo A1 e B1 aquelas adjacentes à linha do equador; analogamente, para C (resp., D) são consideradas sub-áreas C1 e C2 (resp., D1 e D2), separadas pelo paralelo 10°N, sendo C1 e D1 aquelas adjacentes à linha do equador; (Figura 1). Note-se que Servain, Picaut et al. (1985), para a análise da variabilidade da TSM, haviam também considerado diversas áreas no Atlântico sul e norte.

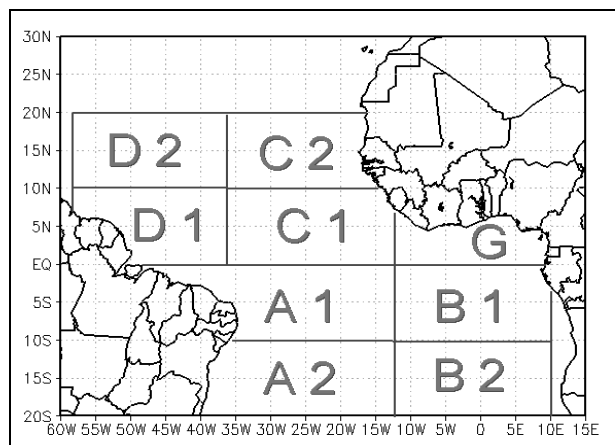


Figura 1. Áreas selecionadas para cálculos de temperaturas médias (e suas anomalias) no Atlântico intertropical sul e norte.

Os dados de *El Niño* e do *Índice de Oscilação Sul* correspondem aos da NOAA-NMC, que de usual são divulgados através do “*Climate Diagnostics Bulletin*”. Com respeito à localização das Áreas 1 + 2, 3 e 4 da TSM no Pacífico equatorial (El Niño), ver a Figura 2.

Para a *Atividade Solar* considerou-se o clássico *Índice de Wolf*, calculado a partir dos números de manchas solares individuais e de grupos de manchas, cuja série acha-se disponível no

“Sunspot Index Data Center” do Observatório Real de Bruxelas. Em outra etapa da pesquisa pretende-se ensaiar a utilização de outro índice de atividade solar, teoricamente mais objetivo, que é a medida do *fluxo*, na frequência de 2800 MHz (ou comprimento de onda de 10,7 cm), medido no Canadá através de radiotelescópios, desde 1947 (em Ottawa até 1991 e Penticton a partir de 1991).

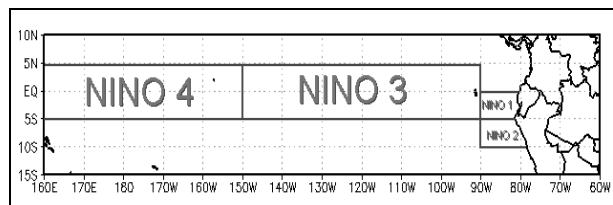


Figura 2. Áreas no Pacífico equatorial: Niño 1 + 2, 3 e 4.

Finalmente, as alturas mensais da chuva para Fortaleza-Ceará provêm do posto da FUNCEME (desde 1974) e da Universidade Federal do Ceará/Campus do Pici (série iniciando em 1966), complementadas a partir do Banco de Dados Hidrometeorológicos da SUDENE para os dois anos precedentes. Os dados pluviométricos de Acaraú-Ceará e Quixeramobim-Ceará foram fornecidos pela FUNCEME. Sobre os dados da SUDENE, pode ser consultada uma publicação deste órgão: SUDENE (1990). Ver a Figura 3.

Neste artigo ficamos limitados à utilização da Regressão Linear Múltipla, “passo-a-passo” (*stepwise*), correspondendo ao “*Modelo Linear Generalizado com Erro Normal e Ligação Identidade*”. Contudo, pode-se adiantar que o emprego do *Erro Gama* e/ou da *Ligação Log* não chega a melhorar substancialmente a explicação e/ou previsão, em termos do percentual de explicação da variância da regressão, apesar de que possa garantir maior confiabilidade aos resultados dos testes estatísticos de significância, no caso de erros que se afastem da lei gaussiana. É nesse sentido que sempre foi realizado um teste gráfico de normalidade, procedimento comumente incorporado à maioria dos “pacotes” estatísticos.

Na montagem dos modelos de previsão houve a restrição de trabalhar com os dados de cada variável a prever, e das respectivas covariáveis, somente até o ano de 1993. Como se dispunha de todas as observações até julho de 1997, torna-se então possível utilizar os modelos propostos para intentar previsões da chuva nos anos subseqüentes, ou seja, para 1994, 1995 e 1996, e também, para o ano de 1997, comparadas com as alturas da chuva efetivamente observadas. De fato, para aquilatar a grandeza dos erros

de previsão de um modelo e, portanto, sua qualidade, deve-se distinguir entre as “previsões intra-modelo” (ou “intra-ajuste”), no caso feitas 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) fazem tal distinção, ou seja, entre o que denominam “training period” e “forecasting period”, respectivamente.

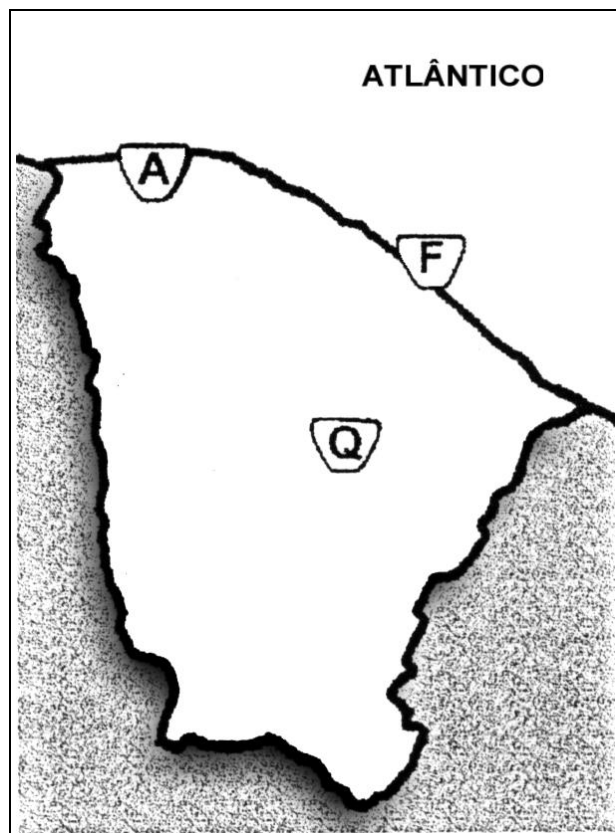


Figura 3. Estado do Ceará; A = Acarau; F = Fortaleza; Q = Quixeramobim.

Como bem sabido do Cálculo Numérico, os erros de “extrapolação” costumam ser mais importantes que os de “interpolação” e tal concepção se estende, naturalmente, para o caso da previsão probabilística. Contudo, para fins operacionais, deve-se ter em mente que em cada ano os modelos podem, em princípio, ser atualizados para incorporar as novas observações disponíveis. De fato, cada modelagem (ou simulação) foi aqui repetida empregando todos os dados até 1994, 1995 e 1996, sucessivamente, com a finalidade de avaliar sua estabilidade. Em geral, nota-se haver essa estabilidade nos modelos, embora os resultados a esse respeito sejam omitidos para não estender a exposição em demasia.

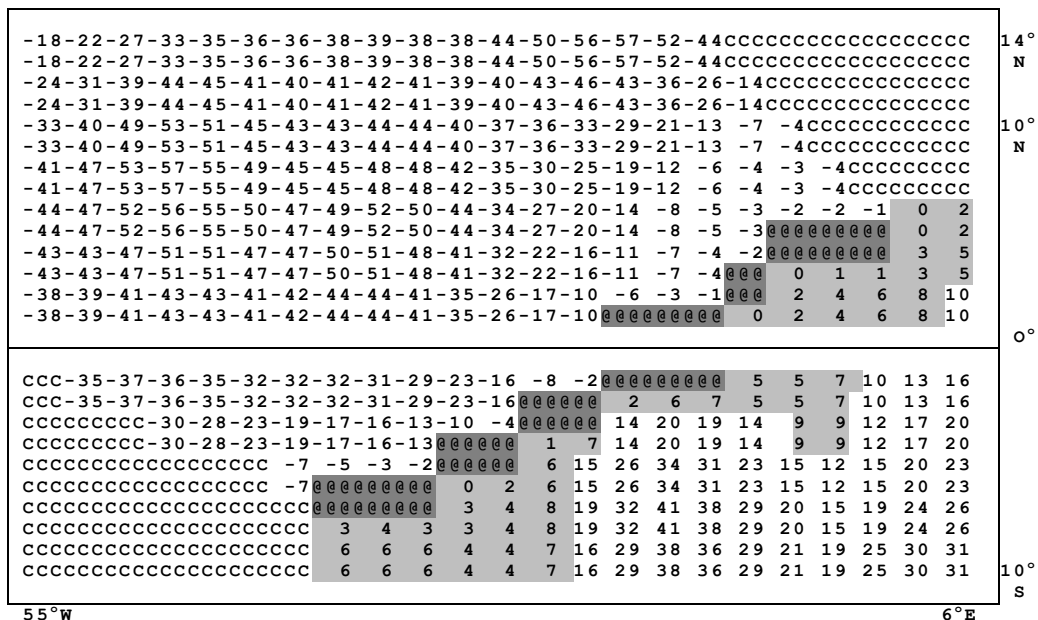
Uma questão a ser levantada, neste mesmo contexto, diz respeito ao critério de validade de um

modelo que não pode residir, exclusivamente, 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, se espera, seja suficientemente pequena. Na verdade, é preciso inspecionar o gráfico de dispersão dos valores previstos contra os valores observados, para a variável independente, no sentido de verificar se o modelo não estaria sendo forçado por valores “anômalos” (ou *outliers*). Por tal motivo, sistematicamente, empreende-se a inspeção gráfica, que pode ser complementada mediante uma análise objetiva via procedimentos analíticos, em particular a “análise de resíduos”. Note-se que os “resíduos” são, classicamente, as diferenças entre os valores previstos e os valores observados, “intra-modelo” (ou “intra-ajuste”), apesar de ainda caber considerar os “resíduos” ou os “erros” fora do período de ajuste, ou seja, com respeito à previsão de valores “futuros”.

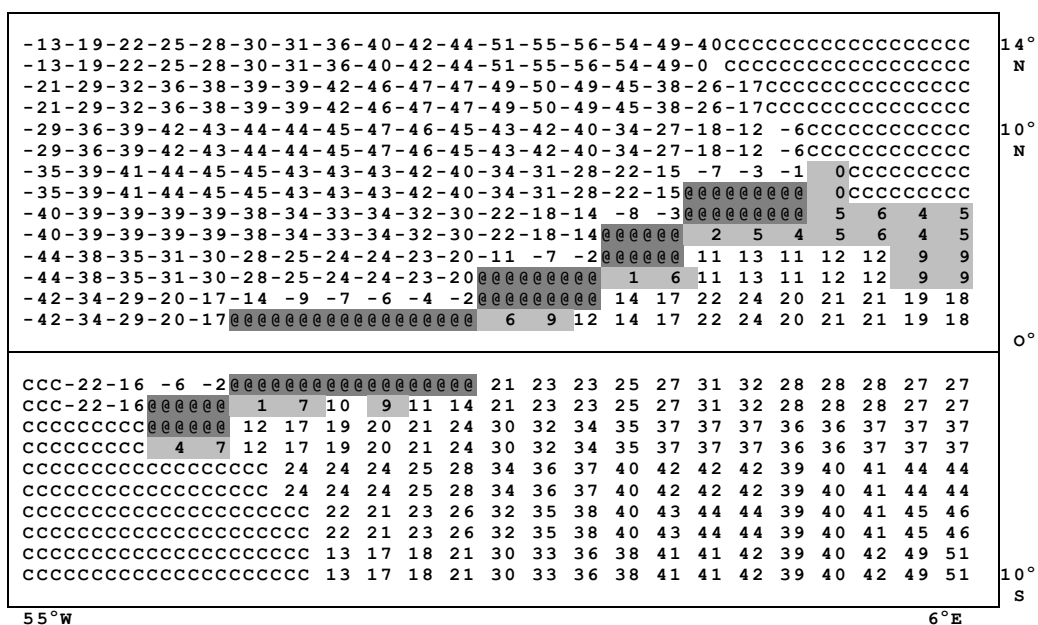
Em vista ao tratamento preliminar dos dados primários, no sentido do cálculo de médias bimestrais, trimestrais e semestrais da TSM e das componentes da “pseudo tensão” do vento-TVS, em pontos de grade, nas mencionadas áreas do Atlântico intertropical sul e norte, como ainda, das suas anomalias, foram desenvolvidos programas em TURBO-PASCAL (agora em fase de adaptação para tirar proveito do ambiente de programação DELPHI).

Entre os programas desenvolvidos deve ser salientado, em especial, aquele destinado à representação da componente meridional da “pseudo-tensão” do vento sobre a bacia do Atlântico intertropical, em cada mês, obtendo-se destarte uma “carta” que, não só reproduz os dados dessa componente em pontos de grade, como também permite determinar a posição média da linha de convergência dos ventos de superfície dos hemisférios norte e sul, os quais sopram respectivamente de NE e de SE, correspondendo à localização aproximada da “Zona de Convergência Intertropical” (ZCIT). Note-se que nesse contexto torna-se obrigatório utilizar os valores mensais da componente meridional, não suas anomalias. Na verdade, obtém-se apenas a posição média mensal da ZCIT pois, no decurso dos dias de cada mês podem ocorrer flutuações importantes quanto à sua posição latitudinal, em cada faixa de longitudes. O mesmo programa permite ainda, a obtenção de séries numéricas para as posições médias latitudinais dessa linha de convergência, de modo que, numa etapa subsequente da pesquisa, passa a ser possível a introdução de covariáveis explicativas e/ou preditivas nos modelos lineares de explicação e/ou previsão, relativas à posição da ZCIT.

No presente artigo duas cartas são apresentadas (Figuras 4a e 4b), as quais se referem a uma área entre 14° N e 10° S, e 55° W e 6° E (lembramos que os dados disponíveis estendem-se entre 30 graus norte e 10 graus sul, e 60 graus oeste e 16 graus leste, sendo esta última portanto área bem mais am-



(a) Abril de 1974 (ano excepcionalmente chuvoso)



(b) Abril de 1993 (ano excepcionalmente seco)

CCCCCCCCC = áreas continentais (na África e América do Sul)
 @@@@@@@@ = Zona de Convergência ao Nível do Mar ≈ ZCIT
 2 5 6 3 5 4 6 3 2 = componente meridional enfraquecida
 valores positivos ≈ comp. meridional N → S
 valores negativos ≈ comp. meridional S → N

Figura 4. Componente meridional da pseudo-tensão do vento no Atlântico intertropical (m²/seg²).

pla). Note-se que, de um lado e outro da linha de convergência, os valores da componente escalar meridional possuem sinais contrários: a) negativos, quando acima dessa linha (indicando que a componente aponta do norte para o sul); e b) positivos, se abaixo da mesma linha (indicando que, ali, a componente aponta em sentido contrário, isto é, do sul para o norte).

Para uma avaliação preliminar no contexto desta pesquisa, considera-se o papel de cada covariável (ou variável independente) isolada para fins da explicação ou da previsão da chuva. Assim, são calculados os coeficientes de correlação entre as diversas covariáveis e a variável resposta (FOR = chuva em *Fortaleza*, ACA = chuva em *Acaraú* e QXE = chuva em *Quixeramobim*, no Estado do Ceará). Aquelas que se mostram mais expressivas são posteriormente testadas num modelo de explicação ou de previsão. A todo rigor esta etapa seria prescindível pois num procedimento de regressão múltipla “passo-a-passo” dá-se, automaticamente, a seleção das variáveis a entrar ou não no modelo, sendo as demais descartadas. Contudo, não é conveniente partir de um número muito elevado de covariáveis, onde, em consequência, torna-se recomendável tal avaliação prévia.

Note-se que a variável chuva diz sempre respeito à chuva acumulada no primeiro semestre (ou em outro sub-intervalo de tempo, por exemplo o quadrimestre mais chuvoso) de cada ano em curso. Com efeito, é dentro do período janeiro-junho que ocorre a estação chuvosa no Nordeste setentrional. Para sua “explicação”, as covariáveis devem se referir a ocorrências concomitantes, ou seja, no caso, também observadas ou medidas no primeiro semestre do mesmo ano ou numa parte do referido semestre, enquanto, para finalidades da “previsão”, devem ser medidas num intervalo de tempo anterior, digamos, no decorrer do segundo semestre de cada ano precedente ou um sub-intervalo. Em outras palavras, para cada modelo de previsão existirão “retardos” (ou “lags”) no tempo entre os preditores (covariáveis) e o preditando (chuva).

No contexto deste artigo os melhores resultados para uma “previsão” relativamente precoce são aqueles obtidos considerando, preliminarmente, as covariáveis medidas no último bimestre de cada ano anterior (novembro/dezembro). Finalmente, para uma previsão da chuva no quadrimestre fevereiro-março-abril-maio, no Ceará, podem ser utilizadas as medi-

das das covariáveis nos meses de novembro até janeiro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Papel da componente meridional da “pseudo-tensão” do vento

A “pseudo-tensão” do vento revelou ser um fator importante a se incluir no contexto dos modelos de explicação e/ou previsão, como veremos. Por outro lado, verifica-se que o enfraquecimento da sua componente meridional junto à costa do Nordeste associa-se de maneira nítida à descida da ZCIT, cujo significado para o desencadeamento de chuvas regulares sobre a área é inconteste, em especial ao longo de sua faixa litorânea norte. Lembremos que em estudos sobre os regimes pluviais no Nordeste brasileiro já havia sido enfatizado este papel da ZCIT, (Xavier et al., 1982, 1983). Por outro lado, Servain, Picaut et al. (1985) já mencionavam que a ZCIT pode materializar-se pelo mínimo da componente meridional do vento, e que corresponde, portanto, aos pontos em que essa componente muda de sinal ao longo de larga faixa equatorial.

Nos anos muito chuvosos, a zona de convergência desce bastante abaixo da linha do equador, especialmente entre os meses de março a maio. Além disso, nesses casos, denota-se nítido enfraquecimento da componente meridional do vento nas proximidades da costa do Nordeste brasileiro. Na Figura 4a, referente a *Abril de 1974*, percebe-se de forma nítida o enfraquecimento da componente meridional junto à costa, enquanto a posição média da zona de convergência dos ventos de superfície (*trade winds*) passa nessas longitudes a localizar-se muito abaixo da linha do equador, de modo a alcançar na figura um ponto sobre a linha litorânea leste do Rio Grande do Norte. Além do mais, vê-se que geometricamente, a ZCIT sobre o Atlântico em *Abril/74* desenvolve-se como uma linha em diagonal, que se inclina desde um ponto na costa da África, entre 3 e 4 graus de latitude norte aproximadamente e, após cruzar a linha do equador, desce até à altura da costa do Rio Grande do Norte, em torno de 6 e 7 graus de latitude sul (os valores acima mencionados para as latitudes são grosseiros, pois os dados numéricos foram representados com a resolução de dois graus, na carta, sem usar interpolações).

Note-se que o enfraquecimento dos ventos na costa do Nordeste, neste caso, apenas parece

representar o prolongamento do mesmo fenômeno que, usualmente, observa-se junto à costa da África à altura do Golfo da Guiné, na mesma época. Sobre tal inclinação em diagonal da linha da ZCIT deve-se mencionar que, em geral, isso ocorre dentro do primeiro semestre do ano, enquanto nos meses em que ela costuma estacionar à latitudes mais altas, tende então a se desenvolver quase em paralelo à linha do equador. Ver Xavier & Xavier (1997a).

Já na Figura 4b referente a *Abril de 1993* e que corresponde a um ano de seca na região, observe-se que a posição média da zona de convergência junto a costa da África passa a se localizar mais acima do equador, entre 7 e 8 graus de latitude norte, enquanto em longitudes correspondentes à região Nordeste e sobre o oceano atlântico, a leste dessa região, mantinha-se em torno da linha do equador. Além disso, era forte a componente meridional da pseudo-tensão do vento junto às costas norte/leste da referida região.

Explicação da chuva acumulada no semestre 1 (janeiro/junho)

Aqui, notamos por *FORs1*, *ACAs1* e *QXEs1* a chuva acumulada em Fortaleza, Acaraú e Quixeramobim no decorrer do Semestre 1 (Janeiro-Junho). E por *TSMAs1*, *TSMBs1*, ..., *TSMGs1*, no mesmo semestre, os dados da TSM média nas áreas A, B, ..., G do Atlântico intertropical, respectivamente. Bem como, por *N12s1*, *N30s1*, *N40s1* e *N34s1*, as anomalias médias da TSM no Pacífico (El Niño) nas áreas 1 + 2, 3, 4 e 3 + 4; por *SOIs1*, o Índice de Oscilação Sul; e por *SOLs1*, a Atividade Solar (Número de Wolf). Finalmente, nesta subseção, tanto as correlações como todos os modelos de regressão ensaiados são calculados ao longo de 1964-93.

Correlações

As correlações mais significativas entre *FORs1* (chuva em Fortaleza durante o Semestre 1) e os dados da TSM no Atlântico, ocorrem para as covariáveis *TSMAs1* e *TSMCs1*, com $R = 0,57$ ($p = 0,0009$) e $R = -0,50$ ($p = 0,005$), e com respeito à TSM no Pacífico, para a covariável *N34s1*, com $R = -0,56$ ($p = 0,001$). Quanto às covariáveis *SOIs1* e *SOLs1*, os coeficientes de correlação foram: $R = 0,52$ ($p = 0,003$) e $R = -0,56$ ($p = 0,001$). Todas essas correlações são altamente significativas, desde que as probabilidades p de erro foram bas-

tante pequenas, pois variam entre $p = 0,003$ e $p = 0,0009$.

No caso de *ACAs1* (chuva em Acaraú durante o Semestre 1) as correlações com *TSMAs1* e *TSMCs1* alcançaram os valores $R = 0,58$ ($p = 0,0008$) e $R = -0,53$ ($p = 0,003$), respectivamente. Para *N34s1*, *SOIs1* e *SOLs1* as correlações com a chuva em Acaraú no primeiro semestre foram, respectivamente, $R = 0,61$ ($p = 0,0003$), $R = 0,58$ ($p = 0,0008$) e $R = -0,52$ ($p = 0,003$).

Quanto às correlações com *QXEs1* (chuva em Quixeramobim no Semestre 1), são sempre mais baixas. Assim, para as covariáveis (variáveis independentes) que são mencionadas acima, na mesma ordem, foram obtidos os seguintes valores: $R = 0,46$ ($p = 0,001$), $R = -0,30$ ($p = 0,10$), $R = -0,48$ ($p = 0,008$), $R = -0,49$ ($p = 0,006$), $R = -0,39$ ($p = 0,03$) e $R = 0,49$ ($p = 0,006$). Trata-se de um primeiro indício da menor explicabilidade/previsibilidade da chuva em Quixeramobim.

Outra observação pertinente refere-se à circunstância em que os sinais algébricos dos coeficientes de correlação R obtidos acima são todos coerentes com respeito ao significado físico e à influência de cada covariável, conforme o que é tratado na literatura especializada.

Note-se ainda que no cálculo desses coeficientes de correlação é irrelevante serem utilizadas, diretamente, as médias da TSM no Atlântico ou que se trabalhe com as anomalias respectivas. Isso, aliás, é válido com respeito a quaisquer outras covariáveis. Com efeito, não se alteram os valores dos coeficientes de correlação, pois, se α e β são constantes:

$$\text{Corr}(X-\alpha, Y-\beta) = \text{Corr}(X, Y);$$

em particular, quando α e β são as médias climáticas de X e de Y , respectivamente. O mesmo também vale para as anomalias padronizadas (desvios padronizados). Tudo isso decorre de propriedades bem conhecidas dos operadores E (valor esperado) e Var (variância), desde que estejam envolvidas transformações lineares das variáveis aleatórias em causa. O cálculo das anomalias e dos desvios padronizados corresponde, exatamente, ao emprego de transformações lineares a partir das variáveis originais. Essas considerações também se aplicam, *mutatis mutandis*, no contexto dos modelos de regressão linear.

É bem verdade que entre usuários de métodos estatísticos em Meteorologia, Climatologia, Oceanografia, etc., existe hoje em dia uma tendência para trabalharem exclusivamente com "anomalias", o que nem sempre seria obrigatório. Embora certo que em muitas situações se torna

indispensável. Por exemplo, para determinar a relação de intervariabilidade entre duas séries temporais mensais, que encerrem variações sazonais, pois, em tal circunstância, uma correlação elevada, eventualmente detectada entre ambas, possui mais das vezes caráter espúrio e, portanto, destituída de maior interesse ou significado. Em outros casos, ainda constitui procedimento altamente recomendável, como ocorre na representação de um campo de anomalias, pois nos permite dispor de informações mais claras sobre a localização de áreas nas quais os dados numéricos se encontram acima, ou então, abaixo das respectivas médias climáticas. Porém, em diversas outras situações, seu uso torna-se supérfluo; e pior, ao se dar de uma maneira indiscriminada poderá assumir características abusivas, capazes inclusive, de conduzir a graves erros. Assim, em um contexto como os das Figuras 4a e 4b, se tivéssemos escolhido trabalhar com as anomalias da componente meridional, ficaria impossível localizar a posição da ZCIT. Sobre tais questões, ver: Xavier & Xavier (1997b).

Modelos de explicação

Em conjunto, as covariáveis *TSMAs1* e *TSMCs1* fornecem um modelo de regressão linear destinado à explicação de *FORs1* (chuva em Fortaleza no primeiro semestre), com $R^2 = 66,4\%$ ($p = 0,0000$), valor que corresponde a um coeficiente de correlação $R = 0,81$ entre os valores observados e calculados (ou previstos) “intra-modelo”. Os coeficientes de *TSMAs1* e *TSMCs1* na equação de regressão, no caso, são positivo e negativo, respectivamente, ou seja, este modelo privilegia o conceito do “dipolo” ou de sua inversão, com respeito à TSM no Atlântico sul e norte, bem conhecido da literatura. Quanto às demais covariáveis (variáveis independentes), referentes à TSM no Pacífico, à Oscilação Sul e à Atividade Solar, são rejeitadas no modelo de regressão “stepwise”. Porém, quando nele forçadas, os sinais dos coeficientes respectivos na nova equação de regressão também são coerentes com a climatologia.

Com respeito a modelo análogo para explicar *ACAs1* (chuva em Acaraú no primeiro semestre) tem-se $R^2 = 70,5\%$ ($p = 0,0000$), que corresponde a $R = 0,84$. Finalmente, com respeito a *QXEs1* (isto é, a chuva em Quixeramobim no primeiro semestre), um análogo modelo envolve um percentual de explicação da variância muito baixo, de apenas $R^2 = 34,2\%$ ($p = 0,004$).

O modelo anterior pode ser melhorado, mediante a substituição de *TSMAs1* e de *TSMCs1*,

respectivamente, por *TSMAs1s1* e *TSMCs1s1* (temperaturas médias do Atlântico nas sub-áreas A1 e C1, ou seja, mais próximas da linha do equador). Assim, para explicar *FORs1* (Fortaleza) obtém-se $R^2 = 76,2\%$ ($p = 0,0000$), que corresponde a $R = 0,87$, valor excepcionalmente elevado em análises dessa natureza. Por outro lado, com respeito a *ACAs1* (Acaraú), tem-se $R^2 = 79,6\%$, o que nos dá $R = 0,89$. Em modelo análogo, com respeito a *QXEs1*, obtém-se $R^2 = 44,7\%$ ($p = 0,0003$).

Correlações (envolvendo a “componente meridional”)

Finalmente, consideramos o papel da covariável *WYAs1* (componente meridional do vento na área A do Atlântico intertropical, no Semestre 1), cujas correlações com *FORs1*, *ACAs1* e *QXEs1*, atingem os valores $R = -0,75$ ($p = 0,0000$), $R = -0,71$ ($p = 0,0000$) e $R = -0,67$ ($p = 0,0001$), respectivamente. Com respeito a *WYGs1* (na área G ou Golfo da Guiné), por sua vez, são obtidas correlações com *FORs1*, *ACAs1* e *QXEs1* da ordem de $R = -0,57$ ($p = 0,001$), $R = -0,49$ ($p = 0,001$) e $R = -0,57$ ($p = 0,002$). Fica evidente, dessa forma, a potencialidade da covariável *WYAs1* para fins da explicação da chuva, não só de Fortaleza e Acaraú, como também de Quixeramobim, no Semestre 1.

Os sinais algébricos negativos para esses coeficientes de correlação significam que o enfraquecimento da componente meridional na Área A (no Atlântico sul, nas adjacências da costa do Nordeste brasileiro) e na Área G (Golfo da Guiné), no primeiro semestre, contribui para o reforço da chuva durante o mesmo semestre, na região.

Por outro lado, ao considerar a componente meridional da pseudo-tensão do vento na sub-área equatorial A1, isto é, a covariável *WYA1s1*, suas correlações com *FORs1*, *ACAs1* e *QXEs1*, são ainda maiores em valor absoluto, ou seja, da ordem de $R = -0,83$ ($p = 0,0000$), $R = -0,82$ ($p = 0,0000$) e $R = -0,73$ ($p = 0,0000$), respectivamente.

Modelos de explicação (envolvendo a “componente meridional”)

Feita a constatação anterior, cabe verificar como a componente meridional da pseudo-tensão do vento se comporta ao ser introduzida num modelo de explicação. De fato, com respeito a *FORs1* (Fortaleza), as covariáveis *TSMAs1*, *TSMCs1* e

WYAS1 entram, em conjunto, num modelo de regressão linear, com $R^2 = 80,5\%$ o que corresponde a $R \approx 0,90$. Esses valores muito elevados de R^2 e de R não são espúrios, conforme se pode discernir de uma inspeção dos gráficos correspondentes de dispersão para valores observados e previstos. Tais gráficos são aqui omitidos pois o estudo sobre a “explicação” da chuva, de fato, torna-se secundário no contexto deste trabalho. Para ACAs1 (Acará) são obtidos resultados análogos. Note-se que Fortaleza e Acará são localidades situadas ambas no litoral cearense e, portanto, estando submetidas aproximadamente à ação dos mesmos sistemas produtores de chuva.

Finalmente, para explicar a chuva em Quixeramobim, a variável WYAs1 é a única a entrar no modelo de regressão, fornecendo $R^2 = 53,3\%$. Mais uma vez, fica constatada a menor explicabilidade da chuva para esta localidade interiorana. Cabe mencionar, porém, que a substituição de WYAs1 (média da componente meridional do vento na área A) por SWAs1 (intensidade média do vento na mesma área) conduz a um resultado aparentemente melhorado, com $R^2 = 58,1\%$.

Previsão da chuva acumulada em Fortaleza no semestre 1 (janeiro/junho) a partir de covariáveis medidas no bimestre 6 (novembro/dezembro) do ano anterior

Para a previsão da chuva acumulada no primeiro semestre de cada ano é possível chegar a um indicativo, relativamente precoce, através de covariáveis medidas no último bimestre do ano precedente. Assim, em termos operacionais, essa previsão poderá ser empreendida ainda no começo de janeiro, quando todos os dados necessários costumam estar disponíveis “on-line”.

Basicamente, no que se refere à previsão da chuva no primeiro semestre de cada ano, utilizando os dados do Bimestre 6 do ano anterior, são aqui considerados dois modelos básicos distintos: o *Modelo 1* (no qual não entram os dados de vento no Atlântico) e o *Modelo 2* (no qual são introduzidos esses dados). Omite-se o estudo preliminar envolvendo o cálculo dos coeficientes de correlação entre cada covariável e a variável a prever (chuva em Fortaleza, Acará e Quixeramobim), por não oferecer maior interesse do ponto de vista operacional. Mais uma vez, no que se segue, as correlações e modelos de regressão ensaiados referem-se a observações no período 1964-93.

Continuamos a notar por FORs1 a chuva acumulada durante o primeiro semestre (variável a prever), em Fortaleza. De forma análoga, ACAs1 em Acará e QXEs1 em Quixeramobim. As covariáveis que entrarão nos modelos são: TSMb6, SOLb6 e N34b6, ou seja, a TSM média na área B do Atlântico Sul (adjacente à costa da África), a Atividade Solar Média (em termos do índice de Wolf) e a TSM na área 3 + 4 do Pacífico (El Niño), todas elas medidas no Bimestre 6 (novembro/dezembro) de cada ano anterior. Bem como, WYAb6 (ou WYA1b6), isto é, o valor médio da componente meridional da “pseudo-tensão” do vento na área A (resp., na sub-área A1) do Atlântico sul, adjacente à costa do Nordeste brasileiro, também medida no Bimestre 6. Note-se que SOLb6 (a anomalia do Índice de Oscilação Sul) avaliada no Bimestre 6, poderá eventualmente substituir N34b6 nos modelos estudados, o que é explicável.

Modelo 1 (sem intervir a “componente meridional”)

Aqui, a variável FORs1 (chuva em Fortaleza no Semestre 1) é prevista por TSMb6, SOLb6 e N34b6, ou seja, estão envolvidas as covariáveis preditivas:

TSMb6 = TSM média na área B do Atlântico Sul (adjacente à África), no último bimestre (b6) do ano precedente, i. e., em nov./dez.;

SOLb6 = Atividade Solar média no bimestre b6;

N34b6 = anomalia da TSM na área 3 + 4 do Pacífico, também em b6;

todas elas altamente significativas com respeito a sua entrada no modelo, com probabilidades de erro $p = 0,0000$ (no referido modelo, como seria de esperar, é possível substituir a variável N34b6 pelo índice de Oscilação Sul, no mesmo período, sem que os resultados se alterem significativamente).

Note-se que os dados da *Atividade Solar* e de *El Niño* (TSM no Pacífico) não compareciam nos modelos “passo-a-passo” de explicação da chuva. Por outro lado, o papel da TSM média nas áreas A e C, presentes nos modelos de explicação, passa a ser exercido pela TSM média na área B, no Bimestre 6, ou seja, em termos da variável TSMb6. Isso faz sentido pois, é na sub-bacia atlântica junto à África onde ocorre a maior variabilidade da TSM no Atlântico Sul, conforme constatado em trabalhos de Jacques Servain, onde há possibilidade de poder realmente carrear um sinal importante para fins preditivos. Com efeito,

seria a partir da costa da África de onde se propagariam para oeste as alterações mais significativas da TSM na bacia do Atlântico Sul, entre os últimos meses de cada ano e os primeiros do ano subsequente. Por outro lado, no caso do enfraquecimento dos ventos próximo à costa da região Nordeste durante o primeiro semestre (especialmente a partir de março), conforme já vimos, há evidências de tratar-se da propagação de fenômeno análogo que usualmente ocorre perto da costa africana, no Golfo da Guiné. O modelo obtido é o que se segue:

$$\text{FORs1} = \alpha + \beta \text{ TSMb6} + \gamma \text{ SOLb6} + \delta \text{ N34b6} + \varepsilon, \quad (1)$$

onde $\beta > 0$, $\gamma < 0$ e $\delta < 0$ (os sinais algébricos são compatíveis com o que se conhece sobre o papel da TSM no Atlântico Sul, da Atividade Solar e do fenômeno El Niño, com respeito à chuva na região) e onde ε é a flutuação aleatória envolvida no modelo (ou erro de previsão). Os valores numéricos obtidos para esses coeficientes foram os seguintes (no caso, a probabilidade de erro referente à aceitação de cada covariável no modelo é $p = 0,0000$):

$$\begin{aligned} \alpha &= -1,342; \\ \beta &= 650,658; \\ \gamma &= -4,549; \\ \delta &= -181,212. \end{aligned}$$

Neste modelo de previsão para a chuva em Fortaleza, obtem-se $R^2 = 77,0\%$ (R^2 corrigido = 74,2%), que corresponde a um coeficiente de correlação da ordem de $R = 0,88$ (resp., $R = 0,86$) entre os valores observados e os previstos “intra-modelo”. Além disso, é atingido elevado nível de significância estatística, pois a probabilidade p de erro (de tipo I) é também ($p = 0,0000$).

Lembremos que o ajuste foi feito com base nos dados das covariáveis até 1993. Nesse contexto, numa previsão preliminar para a chuva em Fortaleza, acumulada no primeiro semestre de 1997, tivemos um indicativo de valores da chuva durante o referido intervalo de tempo, estendendo-se entre um nível “pouco abaixo da normal” até “chuvoso”, porém não um valor propriamente “seco” (tampouco “muito seco”) e muito menos sendo esperado que se tornasse “muito chuvoso”. Essa estimativa baseou-se: (i) no cálculo, através do modelo linear ajustado, de um intervalo de confiança ao nível de 95% para o valor previsto, que, portanto, comporta uma probabilidade de erro da ordem de 5%; ou (ii) mediante uma análise gráfica

da variação da chuva observada dentro de cada faixa de valores para a chuva prevista.

No caso de ACAs1 (Acaraú), além das três covariáveis mencionadas acima, entra ainda no modelo a covariável TSMCb6 (área C do Atlântico norte, adjacente à África), o que nos dá $R^2 = 83,0\%$ ($p = 0,0000$). Ao forçar a saída dessa última covariável do modelo de regressão múltipla, obtem-se $R^2 = 79,8\%$ ($p = 0,0000$). Finalmente, no caso de QXEs1 (Quixeramobim), é realmente baixo o nível de previsibilidade, pois $R^2 = 57,2\%$ ($p = 0,0001$).

Modelo 2 (intervindo a “componente meridional”)

Quando se passa a considerar outras covariáveis, incluindo em especial aquelas relacionadas com a “pseudo-tensão” do vento, verifica-se que sua componente meridional na área A do Atlântico sul, adjacente à costa do Nordeste, ou WYAb6 contribui, em conjunto com a TSM na área B do Atlântico Sul (próxima da África), mais a atividade solar e a TSM na área 3 + 4 do Pacífico, no sentido de aumento substancial no percentual de explicação da variância no modelo de regressão, para a previsão de FORs1 (Fortaleza). O modelo obtido é, portanto, o seguinte:

$$\text{FORs1} = \alpha + \beta \text{ TSMb6} + \gamma \text{ SOLb6} + \delta \text{ N34b6} + \lambda \text{ WYAb6} + \varepsilon, \quad (2)$$

onde $\beta > 0$, $\gamma < 0$, $\delta < 0$ e $\lambda < 0$ (mais uma vez os sinais desses coeficientes apreendem seus significados físicos ou efeitos conhecidos sobre a chuva no Ceará e no Nordeste brasileiro setentrional, registrados na literatura científica especializada). Os valores obtidos para esses coeficientes, no caso, foram os seguintes (representando por p , ainda, as probabilidades de erro respectivas para sua aceitação no modelo):

$$\begin{aligned} \alpha &= 1,290 & ; & \quad p = 0,0000; \\ \beta &= 645,521 & ; & \quad p = 0,0000; \\ \gamma &= -4,248 & ; & \quad p = 0,0000; \\ \delta &= -167,939 & ; & \quad p = 0,0002; \\ \lambda &= -50,737 & ; & \quad p = 0,0027. \end{aligned}$$

Neste modelo de previsão para a chuva em Fortaleza, o percentual de explicação da variância sobe para $R^2 = 84,3\%$ ($p = 0,0000$), que corresponde a um coeficiente de correlação $R = 0,92$ entre os valores observados e os calculados. Na Figura 5 temos o gráfico dos valores calculados contra os previstos, para o modelo em pauta. Há de se notar,

pela inspeção desse gráfico, que embora seja elevado o percentual $R^2 = 84,3\%$, o modelo ainda comporta alguns importantes desvios (ou erros) de ajuste e, portanto, ainda deverá comportá-los para a previsão de valores futuros. Isso decorre, em parte, por conta dos quase 16% da variância não explicada através do modelo. Por exemplo, percebe-se que os erros de ajuste são grandes nos anos de 1971 e 1985 (com valores observados superiores aos calculados). Quanto aos erros de previsão, propriamente ditos, se explicam pelo fato dos dados não se encontrarem disponíveis para um número suficiente de anos (temos apenas cerca de 30 anos) e, portanto, situações que venham a ocorrer no futuro podem não estar assimiladas no modelo.

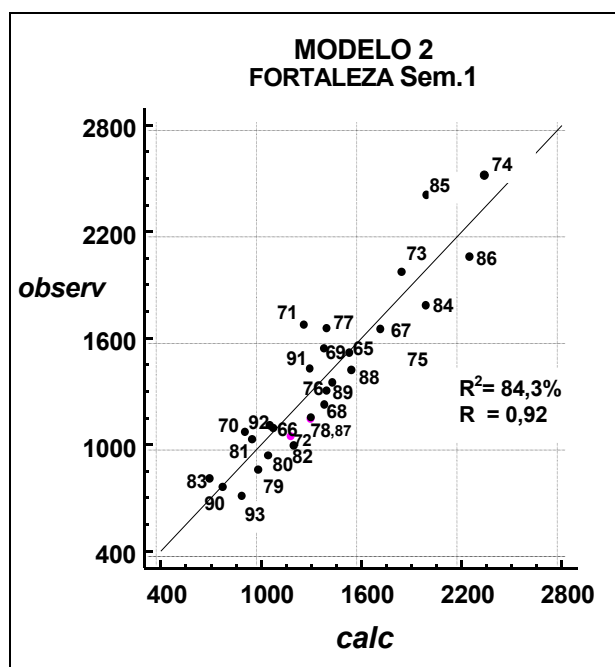


Figura 5. Modelo 2 $FORs1 = \Phi(WYAb6, TSMb6, SOLb6, N34b6)$ $calc =$ valores calculados (i. e., previstos intra-modelo) x $observ =$ valores observados; em mm de chuva.

No caso de $ACAs1$ (Acará) o procedimento “passo-a-passo” introduz praticamente as mesmas covariáveis no modelo, a menos da substituição de $WYAb6$ por $TSMCb6$, obtendo-se $R^2 = 83,0\%$ ($p = 0,0000$). Já no caso da variável $QXEs1$ (chuva em Quixeramobim), entram no modelo todas as covariáveis que intervinham para Fortaleza, quando se obtém $R^2 = 65,6\%$. Mas ao substituir $WYAb6$ (componente meridional) por $WXAb6$ (componente zonal), ocorre com respeito a

Quixeramobim uma aparente e substancial melhoria, desde que $R^2 = 75,9\%$.

Evidentemente, torna-se difícil decidir se algumas variantes de um dado modelo fazem sentido, ou se porventura não seriam meros “artefatos”. Na verdade, para uma conclusão mais fundamentada a esse respeito, seria necessário que se pudesse empreender a mesma análise para um número bem maior de localidades ou de postos pluviométricos situados na mesma região fisiográfica, suposta pluviometricamente homogênea. Por exemplo, no que concerne ao ajuste da última variante do modelo proposto para a chuva em Quixeramobim, caberia verificar se de fato o comportamento acima constatado reproduzir-se-ia no caso de outras localidades do sertão central cearense.

Previsão da chuva acumulada em Fortaleza no quadrimestre fevereiro/maio, por covariáveis medidas no bimestre 6 (novembro/dezembro) do ano anterior e em Janeiro

Nesta subseção passa-se a considerar a previsão para a chuva acumulada no quadrimestre que vai de fevereiro a maio, geralmente o mais chuvoso na capital (Fortaleza) e também na maioria das localidades do Estado do Ceará. Notaremos por $FORqfm$, $QXEqfm$ e $ACAqfm$, a chuva acumulada em Fortaleza, Quixeramobim e Acaraú, respectivamente, no quadrimestre Fevereiro/Maio. Todos os resultados, mais uma vez, referem-se a um ajuste realizado no período 1964-93. Assim, os dados numéricos no período 1994-97 são reservados para “previsões” obtidas através do modelo construído a partir dos dados numéricos referentes ao período anterior (o qual comporta 30 anos de observações). De fato, como faltam os valores da TSM no Atlântico com respeito ao segundo semestre de 1963, os modelos somente permitem o ajuste/previsão da chuva a partir de 1965.

Modelo 3

Para prever $FORqfm$, isto é a chuva acumulada em Fortaleza no quadrimestre fevereiro-maio, as covariáveis preditivas que entraram no modelo foram:

$TSMB1b6 =$ TSM média na área B1 do Atlântico sul (adjacente à África), no último

bimestre (*b6*) do ano precedente, ou seja, nov./dez.;

SOLb6 = Atividade Solar média nesse bimestre;

N34jan = Anomalia da TSM verificada na área 3 + 4 do Pacífico, em janeiro;

WYA1jan = Valor para a componente meridional do vento na Área A1 do Atlântico sul, também em janeiro.

O modelo obtido é, portanto, o seguinte:

$$\text{FORqfm} = \alpha + \beta \text{TSMBb6} + \gamma \text{SOLb6} + \delta \text{N34jan} + \lambda \text{WYA1jan} + \varepsilon \quad (3)$$

onde, mais uma vez, $\beta > 0$, $\gamma < 0$, $\delta < 0$ e $\lambda < 0$. Foram obtidos os valores abaixo listados para esses coeficientes, com as respectivas probabilidades p de erro:

α	=	-9530,468	;	$p = 0,0000$;
β	=	451,964	;	$p = 0,0000$;
γ	=	-2,957	;	$p = 0,0001$;
δ	=	-114,014	;	$p = 0,0024$;
λ	=	-29,380	;	$p = 0,0010$.

Neste modelo é alcançado para R^2 o valor de 81,8% ($p = 0,0000$) que vai corresponder a um coeficiente de correlação $R = 0,90$ (excepcionalmente elevado) entre os valores observados e os calculados para o período 1964-93. Como em todos os modelos anteriores, mais uma vez os sinais algébricos dos coeficientes da equação de regressão são compatíveis com o papel que se espera, física e climatologicamente, de cada uma das covariáveis envolvidas.

Na Figura 6 segue-se o gráfico correspondente dos valores calculados contra os previstos. Mais uma vez, embora seja elevado o valor de R^2 , ou seja, 81,8%, o modelo ainda comporta alguns desvios (ou erros) importantes de ajuste e, em consequência, isso também pode acontecer com respeito à previsão de valores futuros. Isso decorrendo por conta dos quase 18% da variância não explicada.

Na Tabela 1 são comparados entre si valores observados e calculados (resp., previstos), no período 1965-93 (resp., 1994-97). Os erros de ajuste ou de previsão são medidos pelo desvio:

$$y - x = \{\text{valor observado}\} - \{\text{valor previsto}\}.$$

Como se percebe, na maioria dos anos (65,5%) os erros de ajuste (correspondentes aos valores calculados “intra-modelo”, de 1965 a 1993)

não alcançam o valor de 1 (um) desvio padrão (“sigma”). Por outro lado, em (31,0%) dos casos, o desvio varia (em valor absoluto) de uma vez a duas vezes “sigma”. Finalmente, em apenas um caso é maior que duas vezes “sigma”. Os anos para os quais os erros de ajuste são pequenos, evidentemente, correspondem àqueles que se encontram mais próximos da reta $y = x$, no gráfico da Figura 6.

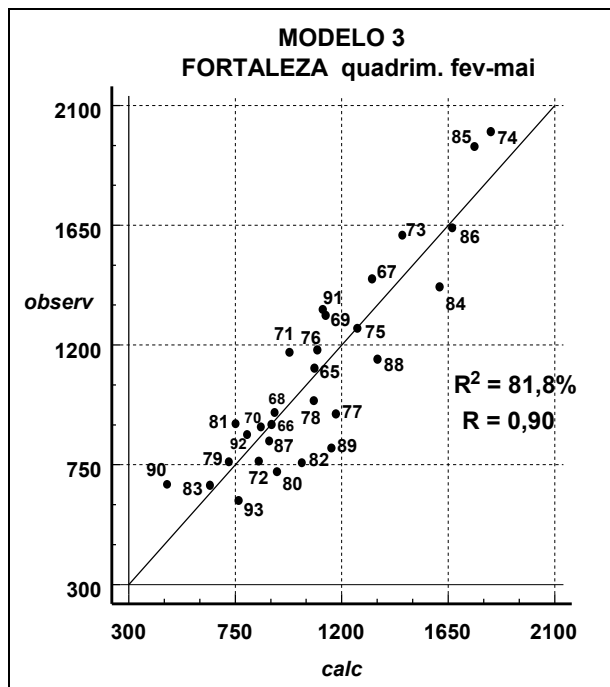


Figura 6. Modelo 3 $\text{FORqfm} = \Phi (\text{SOLb6}, \text{TSMB1b6}, \text{N34jan}, \text{WYA1jan})$ $\text{calc} = \text{valores calculados (i. e., previstos intra-modelo)} \times \text{observ} = \text{valores observados, em mm de chuva}.$

Para melhor avaliar a importância desses erros é recomendável comparar as discrepâncias entre valores observados e calculados (ou os previstos) a partir de informações disponíveis sobre a *variabilidade da chuva acumulada em Fortaleza no quadrimestre fevereiro/maio, no período 1964-97*. Assim, a esse respeito, são obtidos os parâmetros relacionados a seguir, em termos de “normais climáticas”. Lembremos apenas que, o “quantil” Q_p , para um valor qualquer de p no intervalo $[0, 1]$ é tal que:

$$\text{Prob}\{X \leq Q_p\} = p,$$

onde X é a variável aleatória igual à chuva acumulada no referido quadrimestre:

Tabela 1. Resultados para o modelo 3. Chuva em Fortaleza - Ceará, no quadrimestre fevereiro-maio (alturas em mm). Valores observados X Valores calculados ("intra-modelo"), 1965-93. Valores observados X Valores previstos, 1994-97.

Número de ordem	Anos	Valores observados	Valores calculados	Residuais	Residuais padronizados
1	1965	1112,0	1084,9	27,1	0,16974
2	66	900,8	904,1	-3,3	-0,02074
3	67	1448,3	1329,3	119,0	0,71026
4	68	946,3	917,0	29,3	0,18719
5	69	1311,0	1132,9	178,1	1,10363
6	1970	891,9	859,2	32,7	0,19479
7	71	1172,3	980,3	192,0	1,22532
8	72	762,7	849,8	-87,1	-0,54540
9	73	1612,3	1455,9	156,4	1,02771
10	74	2000,9	1830,6	170,3	1,15688
11	75	1262,1	1266,2	-4,1	-0,02447
12	76	1181,0	1098,1	82,9	0,56969
13	77	940,4	1175,7	-235,3	-1,53643
14	78	990,6	1082,0	-91,4	-0,55863
15	79	761,3	723,0	38,3	0,22831
16	1980	723,1	927,1	-204,0	-1,34373
17	81	903,9	752,2	151,7	0,95096
18	82	757,3	1032,1	-274,8	-1,82732
19	83	672,0	644,1	27,9	0,17690
20	84	1418,1	1614,0	-195,9	-1,26403
21	85	1944,9	1761,6	183,3	1,18212
22	86	1639,6	1667,3	-27,6	-0,17310
23	87	838,7	894,3	-55,6	-0,35766
24	88	1146,1	1352,0	-205,9	-1,28818
25	89	812,4	1156,9	-344,5	-2,62558
26	1990	676,2	462,5	213,7	1,54312
27	91	1333,0	1120,5	212,5	1,33396
28	92	863,5	800,1	63,4	0,40301
29	93	615,8	764,9	-149,1	-0,91646
Observação número	Anos	Valores observados	Valores previstos	Residuais	
30	94	1496,1	1629,5	-133,4	
31	95	1762,7	1308,5	454,2	
32	96	1379,3	1337,2	42,1	
33	97	1019,9	1154,5	-134,6	

média = 1147,6 mm;

mediana = $Q_{0,50}$ = 1066,0 mm;

$Q_{0,05}$ = 672,0 mm;

$Q_{0,15}$ = 761,3 mm;

$Q_{0,35}$ = 900,8 mm;

$Q_{0,65}$ = 1311,0 mm;

$Q_{0,85}$ = 1612,3 mm;

$Q_{0,95}$ = 1944,9 mm.

quando a altura da chuva acumulada estiver abaixo de $Q_{0,35}$ = 900,8 mm; *MUITO SECO*, se abaixo de $Q_{0,15}$ = 761,3 mm; *NORMAL*, entre $Q_{0,35}$ = 900,8 mm e $Q_{0,65}$ = 1311,0 mm; *CHUVOSO*, acima de $Q_{0,65}$ = 1311,0 mm; *MUITO CHUVOSO*, se acima de $Q_{0,85}$ = 1612,3 mm). Tais categorias (muito seco, seco, normal, chuvoso e muito chuvoso) são aquelas definidas em Pinkayan (1966) e igualmente utilizadas por Xavier & Xavier (1986, 1987a-b), Xavier (1989), Xavier et al. (1990). Com certeza, tais intervalos devem ser empregados tão

Então, a partir desses parâmetros, o quadrimestre poderá ser tido como: *SECO* em Fortaleza

somente como meros referenciais, principalmente que a passagem de uma categoria a outra dá-se de forma abrupta. Assim, nesse contexto, em um ano com 900 mm de chuva acumulada no quadrimestre, este seria classificado como seco, enquanto para 901 mm seria tido como normal. Por outro lado, não se dispõe dos “verdadeiros” valores dos quantis Q_p mas, apenas, das suas estimativas.

Em Gibbs & Maher (1967) e Gibbs (1987) encontra-se outra proposta para classificação relativamente à chuva mensal, baseada em “decis” ($Q_{0,10}$, $Q_{0,20}$, ..., $Q_{0,90}$), com um total de sete classes, o que lhes permitiu instituir um sistema de “alarme de seca” utilizado pelo Serviço Meteorológico australiano. Sem dúvida, uma sistematização em bases mais próximas à realidade, necessitaria envolver conceitos de *Classificação “fuzzy”* (ou “difusa”), porém, daí decorreria uma maior complexidade em termos interpretativos e, em consequência, ficaria menos acessível à compreensão do grande público.

No contexto precedente, com respeito a Fortaleza durante o ano de 1997, pode-se considerar que o quadrimestre fevereiro-maio foi pluvialmente “normal” (valor acumulado de 1019,9 mm, próximo da *média* = 1147,6 mm e da *mediana* = 1066,0 mm). Ora, o valor previsto pelo modelo (1154,5 mm) concorda com essa condição de normalidade. Por outro lado, para o quadrimestre fevereiro-maio de 1996, a previsão pontual da chuva (1337,2 mm) é ainda mais próxima da altura pluviométrica efetivamente medida (1379,3 mm), ou seja, configurando um quadrimestre “chuvoso” (porém, não muito), com uma diferença entre a chuva observada e a previsão pontual da ordem de apenas 40 mm. Para 1995, contudo, a previsão pontual teria sido de um quadrimestre “chuvoso” (1372,2 mm), quando na realidade entrou na categoria de “muito chuvoso” (1762,7 mm). Porém, esse seria o tipo do erro de previsão sem consequências desastrosas do ponto de vista agrícola, apesar de sensível no que concerne ao aspecto da gestão dos recursos hídricos. Finalmente, com respeito a 1994 a previsão seria de um quadrimestre “muito chuvoso” (1629,5 mm) (embora já se aproximando de apenas “chuvoso”), quando o quadrimestre de fato foi apenas “chuvoso” (1496,1 mm) porém no limiar para “muito chuvoso”. Realmente, a diferença entre o valor observado e a previsão pontual para 1994 é da ordem de, tão somente, 135 mm. Em consequência, pela análise do comportamento da previsão referente aos anos de 1994 a 1997, decorre a indicação de uma excelente potencialidade do modelo, no sentido de gerar previsões aceitáveis.

Note-se, que este modelo também permite o cálculo de um intervalo de confiança (ao nível de 95%) para a chuva prevista em cada quadrimestre fevereiro-maio. Mas como se trata de intervalo de confiança para um “valor individual” da chuva, sua amplitude em geral é grande comparativamente ao intervalo de confiança que seria calculado para uma média. Não obstante, em alguns casos, pode tornar-se de utilidade prática. Por exemplo, um intervalo ao nível de confiança de 95%, mesmo que se estenda de “normal” a “muito chuvoso”, já nos permitiria concluir ser apenas de 5% a probabilidade de se ter um próximo quadrimestre “seco” ou “muito seco”. Outra forma de considerar esta questão é através de uma análise expedita efetuada a partir do próprio gráfico de dispersão (Figura 6).

Para Quixeramobim, análogo modelo (Modelo 3) fornece o valor $R^2 = 65,1\%$ ($p = 0,0000$), que é um percentual de explicação da variância bem menor do que foi encontrado no caso de Fortaleza. Isso condiz com a hipótese já anteriormente levantada sobre a menor previsibilidade da chuva no sertão central (através do mesmo elenco de covariáveis em jogo). Por outro lado, a substituição de WYA1jan (componente meridional) por WXA1jan (componente zonal) não faz alterar substancialmente a qualidade do modelo de regressão, pois nesse caso obtém-se $R^2 = 68,9\%$ ($p = 0,0000$) (Modelo 3A). Na Figura 7, são comparados os respectivos gráficos de valores calculados X valores observados, para Quixeramobim. Neste gráfico torna-se evidente existirem erros de ajuste maiores.

Por outro lado, a previsibilidade para a chuva em Acaraú, no mesmo quadrimestre compara-se ao caso de Fortaleza (omitimos os resultados de Acaraú, por brevidade)

CONCLUSÕES

As seguintes conclusões tornam-se evidentes, reunidas a partir do que foi exposto ao longo da seção precedente, “Resultados e Discussão”:

1. a *componente meridional da “pseudo-tensão” do vento*, em especial na sub-área A1 do Atlântico (Figura 1), nas proximidades da costa da região Nordeste, é uma covariável importante para explicar a chuva no decorrer do primeiro semestre de cada ano, pois concorre para aumentar o percentual explicado da variância no correspondente modelo de regressão múltipla.

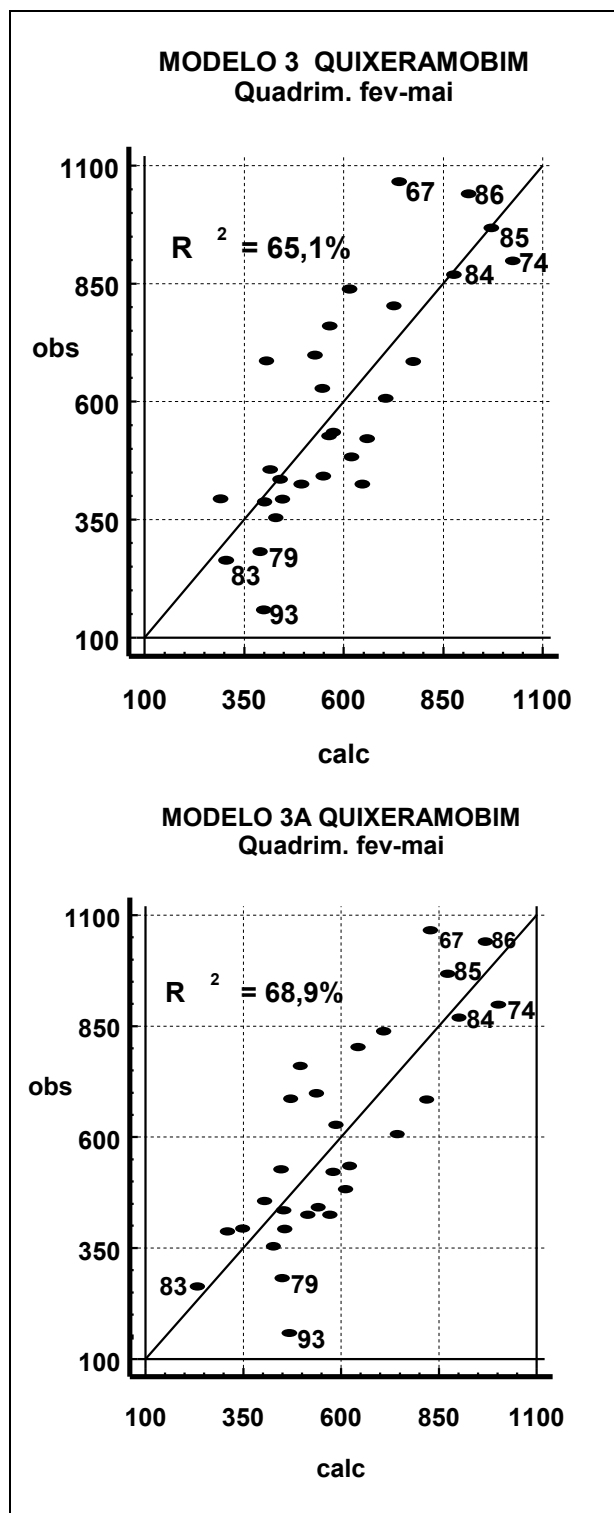


Figura 7. Modelo 3 $QXE_{qfm} = \Phi (SOLb6, TSMB1r6, N34jan, WYA1jan)$ **Modelo 3A** $QXE_{qfm} = \Phi (SOLb6, TSMB1r6, N34jan, WXA1jan)$ **calc** = valores calculados (previstos intra- modelo) **obs** = valores observados, em mm de chuva.

tipla, em especial, com respeito a localidades situadas no litoral cearense, como é o caso de *Fortaleza* e de *Acaraú*;

2. a mesma covariável, com "retardo" apropriado, assume papel importante na previsão da chuva acumulada, tanto para o primeiro semestre de cada ano como em particular no quadrimestre que é usualmente o mais chuvoso (fevereiro-maio), e nesses casos, chegando a predominar sobre o papel do "dipolo" do Atlântico;
3. de fato, foi possível mostrar que o enfraquecimento dessa componente meridional na área A (especialmente na sub-área A1) do Atlântico intertropical sul e nas vizinhanças da costa do nordeste brasileiro, está associada à descida da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), permitindo justificar a introdução de tal covariável no contexto dos modelos de explicação e de previsão. O enfraquecimento da componente meridional do vento, cabe observar, na sub-área A1 do Atlântico sul parece, em geral, prolongar o fenômeno análogo que ocorre a partir da costa da África, no Golfo da Guiné;
4. com respeito a *Quixeramobim*, localidade situada no sertão central, é menor a explicabilidade/previsibilidade da chuva no primeiro semestre e ainda no quadrimestre fevereiro-maio, às custas do elenco de covariáveis aqui consideradas (*TSM* em várias áreas e sub-áreas do Atlântico intertropical sul e norte e a *Pseudo-Tensão do Vento* nessas mesmas áreas e sub-áreas, em termos das componentes meridional e zonal, além da Atividade Solar e da *TSM* em áreas bem definidas do Pacífico equatorial). Esta constatação corrobora resultados encontrados em trabalhos anteriores.

Compatibilidade dos modelos com a interpretação física

Vimos que os coeficientes em todas as equações de regressão consideradas no contexto dos *Modelos 1, 2 e 3*, comparecem sempre com sinais algébricos compatíveis com os significados físicos das covariáveis respectivas ou, conforme o que seria esperado, de acordo com a literatura especializada. Ora, esses sinais algébricos não são por nós impostos, desde que na operacionalização dos modelos a mesma se encarrega de selecionar automaticamente os valores e sinais dos coefi-

entes. Tudo isso comprova que, conceitualmente, cada um dos modelos resulta coerente com a realidade física e com a climatologia. Além do mais, tal coerência se mantém com respeito aos diversos modelos testados, em várias situações, no decorrer do desenvolvimento da pesquisa ao longo de muitos anos, conforme nossos trabalhos constantes das referências. Portanto, representa certa garantia de que não estamos diante de “artefatos” criados através dos procedimentos utilizados.

Continuidade da pesquisa

Haverá um empenho, em termos da continuidade desta pesquisa, nas questões a seguir enumeradas:

- i. analisar de forma mais detida a evolução temporal (mês a mês e também ano a ano) dos padrões de variação das componentes meridional e zonal da “pseudo-tensão” do vento em toda a bacia do Atlântico inter tropical sul e, em especial, determinar se ocorreriam padrões peculiares mais favoráveis à instalação de chuvas regulares sobre a região Nordeste, procurando-se, em concomitância, relacionar as ocorrências de tais padrões com os padrões relativos ao posicionamento e “pulsção” da ZCIT sobre o Atlântico;
- ii. procurar operacionalizar esses modelos já disponíveis, a respeito da previsão da chuva para localidades do Estado do Ceará e do Nordeste brasileiro, situadas em sub-regiões pluviometricamente homogêneas (etapa esta já em curso de desenvolvimento), mas que é relativamente demorada diante de ser necessário reorganizar grande massa de dados pluviométricos e fazer o controle da sua qualidade;
- iii. uma previsão mais precoce é algo problemático, pois estaria sujeita a erros de maior amplitude. Contudo, mereceria que se tentasse verificar a viabilidade de empregar os dados do bimestre outubro/novembro, no sentido de que se pudesse ganhar mais um mês de antecedência no processo da previsão;
- iv. finalmente, algumas verificações preliminares indicam que os resultados são também confirmados via *Análise Discriminante*, aspecto que deverá ser explorado e reexaminado no decorrer da pesquisa subsequente.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Jacques Servain, da ORSTOM-Brest, 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, e à FAPESP. Também à SUDENE, em especial à equipe técnica que se encarregava de fazer a gestão do seu “Banco de Dados Hidrometeorológicos” e, ainda, ao DNAEE- “Depto. Nacional de Águas e Energia Elétrica”, pela excelente acolhida propiciada e facilidades de acesso ao seu Banco de Dados, da parte de seus diretores e técnicos. Finalmente, é a oportunidade que tem o primeiro dos autores para ressaltar o estímulo ultimamente encontrado junto à FUNCEME, na pessoa do seu Presidente, Dr. Roberto Sérgio Farias de Souza, como da equipe técnica do Departamento de Meteorologia desse órgão.

REFERÊNCIAS

- BUCHA, V. (1988). Influence of Solar Activity on Atmospheric Circulation Types, *Annales Geophysicae*, v88, p513-524.
- CAVIEDES, C. N. (1973). *Sécas and El Niño: Two Simultaneous Climatic Harzards in South America*, Proc. Assoc. American Geograph., v5, p55-49.
- CNPq-INPE (1980). *Workshop on Drought Forecasting for North-East Brazil, February*, INPE - São José dos Campos-SP.
- CORDEIRO, G. M., XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1988a). Modelos Lineares Generalizados no Estudo de Parâmetros que Influenciam a Pluviometria no Nordeste Brasileiro, II Previsão da Chuva no 1º Semestre; V Cong. Bras. de Meteorologia, *Anais*. Rio de Janeiro, novembro. v2, pII 55-II 59.
- CORDEIRO, G. M., XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1988b). Análise de Dados da Pluviometria em Fortaleza-Ceará, Através do Modelo Normal com Duas Transformações do Tipo Potência, *Vol. de Resumos do Congr. Nacional de Matem. Aplic. e Computacional*, Ouro-Preto, MG, agosto, p129-131.
- DEWAN, E. M. & SHAPIRO, R. (1991). Are Sunspot-Weather Correlations Real?, *J. Atmosph. Terrestrial Physics*, v53, p171-174.
- FLUECK, J. A. & BROWN, T. J. (1993). Criteria and Methods for Performing and Evaluating Solar-

- Weather Studies, *Journal of Climate*, v6, p373-385.
- GIBBS, W. J. & MAHER, J. V. (1967). Rainfall Deciles as Drought Indicators, *Bulletin* n.48, Bureau of Meteorology, Melbourne-Australia.
- GIBBS, W. J. (1987). *A Drought Watch System, World Climate Programme*, WMO/TD n.193, World Meteorological Organization, June.
- HASTENRATH, S. (1976). Variations in Low-Latitude Circulation and Extreme Climatic Events in the Tropical Americas, *Journal of Atmosph. Sciences*, v33, p202-215.
- HASTENRATH, S. & HELLER, L. (1977). Dynamics of Climatic Harzards in Northeast Brazil, *Quart. J. Royal Meteorological Soc.* v103, p77-92.
- HASTENRATH, S. (1978). On modes of Tropical Circulation and Climate Anomalies, *J. of Atmosph. Sciences*, v35, p2222-2231.
- HASTENRATH, S., WU, M.-C. & CHU, P.-S. (1984). Towards the Monitoring and Prediction of North-East Brazil Droughts, *Quart. J. Royal Meteorol. Soc.*, v110, p411-425.
- HASTENRATH, S. & GREISCHAR, L. (1993). Further Work on the Prediction of Northeast Brazil Rainfall Anomalies, *Journal of Climate*, v6, p743-758.
- HUMBOLDT, A. Von (1843-1958). "Kosmos" (volumes sucessivos publicados nesse período; existe tradução para o espanhol pela editora Espasa-Calpe, com material referente a "Geomagnetismo, Oceanos e Atmosfera").
- LABITZKE, K. & Van LOON, H. (1993). Some Recent Studies of Probable Connections Between Solar and Atmospheric Variability, *Annales Geophysicae*, v11, p1084-1094.
- LEAN, J. L. & REPOFF, T. P. (1987). A Statistical Analysis of Solar Flux Variations Over Time Scales of Solar Rotation: 1978-1982, *Journal of Geophysical Research*, v92, n. D5, p5555-5563.
- LEAN, J. (1988). Solar EUV Radiance and Indices, Chap.7, em: D. REES, Ed., *Advances of Space Research*, v8, p(5)263-(5)292.
- LEAN, J. (1991). Variations in the Sun Radiative Output, *Reviews of Geophysicae*, v29, p505-535.
- MARKHAM, C. G. & Mc LANE, D. R. (1977). Sea Surface Temperature Related to Rain in Ceará, North-Eastern Brazil, *Nature*, v265, p320-323.
- MENDONZA, B. & PÉREZ-ENRÍQUEZ, R. (1992). Solar Activity and "El Niño", *Geofísica Internacional*, v31, p41-46.
- 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, *J. of Atmosph. Sciences*, v38, p2653-2675.
- NAMIAS, J. & CAYAN, D. R. (1981). Large-Scale Air-Sea Interactions and Short-Period Climatic Fluctuations, *Science*, v214, p869-876.
- NOBRE, P. (1993). *On the Genesis of Anomalous SST and Rainfall Patterns Over the Tropical Atlantic Basin*, Ph. D. Thesis, Department of Meteorology, University of Maryland at College Park.
- PICAUT, J., SERVAIN, J. et al. (1985). Climatic Atlas of the Tropical Atlantic Wind Stress and Sea Surface Temperature 1964-1979, Université de Bretagne Occidentale-University of Hawaiï, p467.
- PICAUT, J., SERVAIN, J. et al. (1984). A 16 Year Series of Observations of Sea Surface Temperature and Wind Stress Field in the Tropical Atlantic, em: *Intergovernmental Oceanographic Commission-Technical Series: "Time Series of Ocean Measurements"*, v2 UNESCO.
- 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.
- 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, em: J. C. J., Editor, "Coupled Ocean-Atmophere Models", Chapter 16, p211-237 - Elsevier Publ., Amsterdam.
- SERVAIN, J. (1985). Telleconnection from the Tropical Atlantic, em: CCCO Pannel on Tropical Atlantic Ocean Climate, Studies - 3 ème Session, Rio de Janeiro 9-13 Sept., Report United Nations-CCCO, Paris.
- SERVAIN, J. (1986). Correlation entre l'Atlantique Intertropical et les Precipitations du Sahel et du Nordeste, Colloque "Comparaison des Sécheresses dans le Nordeste Brésilien et le Sahel Africain", IHEAL & EST, Univ. Paris III / CREDAL / ORSTOM (em: Bret, Éd, IHEAL, Paris).
- SERVAIN, J. (1993). Simple Climatic Indices for the Tropical Atlantic Ocean and Some Applications, *J. Geophys. Res. - Oceans*, v96, C8, p15137-15146.
- SUDENE - Ministério do Interior - BRASIL (1990). *Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste*, v1 e 2: Ceará, p1-670, Recife.
- TEIXEIRA, L. & REITER, E. R. (1984). Sea Surface Temperature, Rainfall and Southern Oscillation: Relationships Over Tropical America, *Environmental Research Papers*,

- n.38, October, Colorado State University, 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*, v11, p711-743.
- WILCOX, J. M. (1976). Solar Structure and Terrestrial Weather, *Science*, v192, p745-748.
- XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1982). Análise Espacial de Padrões Pluviométricos para a Região Nordeste do Brasil, 2º Congresso Brasileiro de Meteorologia, *Anais*, 18-22 outubro, Pelotas-RS, v3, p239-274.
- XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1983). *Análisis Espacial de Regímenes Pluviales en la Región Nordeste de Brasil*, Proc. 1st Internat. Conf. Southern Hemisph. Meteorology, São José dos Campos-Brazil, July 31 - August 6, American Meteorol. Society, Boston, p147-149.
- XAVIER, T. de Ma. B. S., XAVIER, A. F. S. & PIMENTEL, T. (1985). Sea Surface Temperatures of the Tropical Atlantic Ocean and Solar Activity: Relationships with Rainfall at Ceará-Northeast Brazil, I. Preliminary Results, em: *CCCO Workshop and Panel Meeting Tropical Atlantic*, 9-13 Sept., Rio de Janeiro [resumo em inglês publicado pelas Nações Unidas / Relatório da referida reunião científica, Paris].
- XAVIER, T. de Ma. B. S., XAVIER, A. F. S. & PIMENTEL, T. (1986a). Sea Surface Temperatures of the Tropical Atlantic Ocean and Solar Activity: Relationships with Rainfall at Ceará-Northeast Brazil, II Results for the Period 1964-1984, I Congr. Interamericano de Meteorologia / IV Congr. Bras. de Meteorologia, *Anais*. Brasília, 20-24 out.1985, v1, p161-166.
- XAVIER, T. de Ma. B. S., XAVIER, A. F. S. & PIMENTEL, T. (1986b). *Temperatura da Superfície do Mar no Atlântico Tropical e Atividade Solar: Relações com a Pluviometria no Estado do Ceará*, III Análise Detalhada a Nível Semestral (1964-1984), Relatório de Pesquisa (versão estendida da comunicação precedente), p41, Fortaleza-Ceará.
- XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1986). Estudo Estatístico sobre a Persistência e Alternância de Anos Secos e Chuvosos no Estado do Ceará, I Congr. Interamericano de Meteorologia / IV Congr. Bras. de Meteorologia, *Anais*. Brasília, 20-24 Outubro 1985, v1, p143-148 [existe um Relatório de Pesquisa, com versão estendida deste trabalho, p37, Fortaleza-CE].
- 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, 7º Simpósio Bras. de Hidrologia e Recursos Hídricos / 3º Simpósio Luso-Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos, *Anais*. Salvador-Ba, nov., v2, p617-629.
- 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*, v5, n.2, p7-31.
- XAVIER, T. de Ma. B. S., CORDEIRO, G. M. & XAVIER, A. F. S. (1988a). *Explicação da Pluviometria em Fortaleza-CE através da Análise de Dados usando o Sistema GLIM*, VIII Simpós. Nacional de Probabilidade. e Estatística (VIII-SINAPE), IMPA - Rio de Janeiro, julho.
- XAVIER, T. de Ma. B. S., CORDEIRO, G. M. & XAVIER, A. F. S. (1988b). Modelos Lineares Generalizados no Estudo de Parâmetros que Influenciam a Pluviometria no Nordeste Brasileiro, I Explicação da Chuva no 1º Semestre, V Congr. Bras. de Meteorologia, *Anais*. Rio de Janeiro, novembro, v2, p11.50-11.54.
- XAVIER, T. de Ma. B. S. (1989). Modèles Linéaires Généralisés dans l'Étude de la Pluviometrie au Nord-Est du Brésil, *Publ. IRMA, Lille*, v17, n.5, pV-1/V-40.
- XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1989). Caracterisation et Moniteurisation des Períodes Sèches et Pluvieuses au Nord-Est du Brésil [Em: Bret, B., Coord., *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 Études de l'Amérique Latine, Univ. de Paris III / Nouvelle Sorbonne), Paris, p93-99].
- XAVIER, T. de Ma. B. S., XAVIER, A. F. S. & CORDEIRO, G. M. (1990). *Application des Modèles Linéaires Généralisés pour l'Explication et la Prévision de la Pluviométrie au Nord-Est du Brésil*, Extended Abstracts of Papers Presented at the Third WMO Sympos. on Meteorological Aspects of Tropical Droughts with Emphasis on Long-Range Forecasting, Niamey-Nigeria, 30/iv-04/v, WMO/TD n.353, Geneve, p255-261.

- 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*, Extended Abstracts of Papers Presented at the Third WMO Sympos. On Meteorological Aspects of Tropical Droughts with Emphasis on Long-Range Forecasting, Niamey-Nigeria, 30/iv-04/v, WMO/TD n.353, Geneve, p247-252.
- 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)* [em: Desenvolvimento Sustentável do Recursos Hídricos, Clarke, R. T. et al. Eds., Artigos selecionados do XI Simpós. Bras. de Recursos Hídricos e II Simpos. de Hidráulica dos Países de Língua Oficial Portuguesa. ABRH, Publicações n.1, novembro].
- XAVIER, T. de Ma. B. S. & XAVIER, A. F. S. (1997a). Papel da Componente Meridional do Vento na Costa do Nordeste para a Previsão da Chuva no Estado do Ceará, em: Artigos Selecionados do XII Simpósio Bras. de Recursos Hídricos, 16-20 nov., Vitória-ES, *Anais*, n.1, p537-543.
- XAVIER, A. F. S. & XAVIER, T. de Ma. B. S. (1997b). Cálculo de Anomalias na Pesquisa Climática: Usos e Abusos, *Cadernos Atena*, n.5, Fortaleza-Ceará.

The Role of the Meridional Component of Wind on the Coast of the Brazilian Northeast and of Other Covariables in Forecasting Rainfall in the State of Ceara (1964-97)

ABSTRACT

We consider rainfall forecasting in the state of Ceará-Northeastern Brazil, using stochastic models, in Semester 1 (January - June) and the usually rainiest four-month period in that region (February - May). Particular attention is given to rainfall data for Fortaleza and Acaraú on the coast and Quixeramobim in the interior of the state. Covariables, are: SST (sea surface temperature) over the intertropical Atlantic and equatorial Pacific; pseudo-strength of wind (meridional and zonal components) also over the Atlantic; SOI (southern oscillation index); and index of Solar Activity, all of them measured in the last two months of every previous year (November - December) and in January. High percentages of variance were obtained, especially in the case of coastal localities. Furthermore the "pseudo-stress" of the wind is a very significant factor to explain and/or forecast models for the rainy season. In fact, the weakening of the southern component of the wind close to the coast of the Northeast is clearly associated with the descent of the ITCZ (intertropical convergence zone) below the equatorial line, usually accounting for regular rains in the region, mainly along the setentrional coast. A methodology has been developed to determine the latitudinal positions of the ITCZ, every month, using the data of the meridional component of the wind over the Atlantic basin. That "line" (in fact a belt) corresponds to the convergence of the trade winds usually blowing from NE and SE.