

PREVISIBILIDADE DE EVENTOS HIDROLÓGICOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO – PARTE I

Francisco Jácome Sarmiento¹

RESUMO – Dividido em duas partes, os artigos analisam (i) a previsibilidade e as principais variáveis climáticas recorrentes na literatura científica como preditoras de eventos hidrológicos no Nordeste do Brasil e (ii) a viabilidade do uso prático dos resultados de previsões de eventos extremos na bacia de drenagem do reservatório Orós, localizado no estado do Ceará (Brasil). Além da precipitação média anual sobre a bacia focada, intenta-se e analisa-se a qualidade dos resultados oferecidos pelas redes neurais artificiais e técnicas de amostragem para realizar previsões com seis meses de antecedência para o índice de precipitação padronizada (Standardized Precipitation Index - SPI), bem como para os deflúvios médios anuais na seção fluvial mencionada.

ABSTRACT– Divided into two parts, the paper analyzes (i) the predictability and the main recurrent climatic variables in the scientific literature as predictors of hydrological events in the Northeast of Brazil and (ii) the feasibility of the practical use of the results of predictions of extreme events in the basin of the Orós reservoir, located in the state of Ceará (Brazil). In addition to the average annual precipitation over the focused basin, the quality of the results offered by artificial neural networks and sampling techniques is attempted and analyzed to make forecasts six months in advance for the Standardized Precipitation Index - SPI, as well as for the average annual runoff in the river section mentioned.

Palavras-Chave –SPI, Deflúvio médio anual, Variáveis climáticas

A PREVISIBILIDADE E AS VARIÁVEIS INTERFERENTES: BREVE HISTÓRICO

A previsão de eventos hidrológicos no Nordeste do Brasil tem sido objeto de análise investigativa por parte de muitos pesquisadores mundo afora. De fato, no campo prático da Engenharia de Recursos Hídricos, dispor de modelos que forneçam previsões com consistência suficiente para subsidiar tomadas de decisão, seja na operação, seja na implantação de infraestrutura hidráulica, traria benefícios imensuráveis ao aproveitamento otimizado dos corpos hídricos naturais e artificiais. De interesse especial nesse contexto são os eventos extremos, como secas e enchentes, cuja ocorrência decorre de complexas relações entre um número desconhecido de variáveis, dentre as quais as de natureza climática, que retratam parte da dinâmica existente entre o oceano e a atmosfera, em particular, aquelas que envolvem a temperatura dos oceanos. Sem dúvida, a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) é uma importante variável influente na condição fronteira entre a atmosfera e a superfície do globo terrestre.

Há muito se estuda a influência de variáveis climáticas sobre o comportamento hidrológico da região Nordeste do Brasil. É vasta a literatura que considera, dentre outros fenômenos, o denominado El Niño (Oscilação Sul – ENOS, Pacífico Equatorial) e o chamado Dipolo do Atlântico (gradiente de Temperatura da Superfície do Mar – TSM no Atlântico tropical) como anomalias climáticas influentes na variabilidade hidrológica da região e as aplicações que se apresentam têm as mais diversas escalas geográficas: desde a pesquisa acerca de efeitos de preditores climáticos sobre aportes hídricos a reservatórios artificiais (barragens), como por exemplo em Souza Filho e Lall (2003), onde

1) Afiliação: Professor Titular, Universidade Federal da Paraíba, Campus 1, Centro de Tecnologia, João Pessoa – PB, jacomesarmiento@hotmail.com

os autores propõem abordagem voltada à previsão de vazões em seis reservatórios no estado do Ceará (Brasil), até a escala de aplicabilidade (planetária) de modelos de circulação global (MCG), como por exemplo em Rajagopalan et al.(2002), onde MCGs são combinados à modelos “locais”, permitindo elaborar uma espécie de mapeamento da previsibilidade de variáveis como precipitação e temperatura em todo o globo.

Influentes em escala planetária, o fenômeno ENOS e o fenômeno do Dipolo do Atlântico certamente interferem na ocorrência de chuvas sobre o Nordeste brasileiro. O fenômeno ENOS, cuja fase quente é denominada El Niño, consiste basicamente em um aquecimento anômalo do Oceano Pacífico Equatorial, em conjunto com variações do campo de pressão ao nível do mar na região tropical. Ocorrências moderadas a muito intensa desse fenômeno podem implicar em ocorrência de seca de severidade moderada a alta no semiárido nordestino (Aragão, 1986).

Atuando em diferentes sub-regiões, bem como superpondo-se em outras (na mesma época ou em épocas diferentes) no espaço geográfico do Nordeste brasileiro identifica-se, de forma geral, seis sistemas atmosféricos geradores de precipitações, a saber: (i) Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); (ii) bandas de nebulosidade associadas a Frentes Frias; (iii) Perturbações ou Distúrbios de Leste; (iv) Ciclones na Média e Alta Troposfera do tipo Baixas Frias (conhecidos como Vórtices Ciclônicos de Ar Superior - VCAS); (v) Brisas Terrestre e Marítima e (vi) Oscilações de 30-60 dias.

Na porção setentrional do Nordeste do Brasil, a ZCIT é o principal sistema de produção de chuvas. Formada pela confluência dos ventos alísios do Hemisfério Norte (alísios de nordeste) e os do Hemisfério Sul (alísios de sudeste), a ZCIT constitui-se no movimento ascendente do ar carregado de umidade que, ao se elevar, sofre resfriamento e condensação resultante na nebulosidade persistente na zona equatorial onde ocorrem as precipitações mais elevados do planeta. Sua influência na pluviometria do Nordeste setentrional ocorre principalmente nos meses de março e abril, podendo em alguns anos se antecipar para fevereiro e/ou se prorrogar até maio. A ausência da ZCIT na região acima da bacia do rio São Francisco nos meses mencionados reduz a precipitação desde Pernambuco até a porção leste semiárida do estado do Piauí.

Caviedes (1972), apontando a relação do fenômeno El Niño com as secas no Nordeste do Brasil em dependência da posição do ITC e das células subtropicais de alta pressão dos oceanos Pacífico e Atlântico, assinala que, na faixa do Atlântico/América do Sul, a posição da ZCIT mais ao norte se dá em agosto-setembro quando alcança 15°N, e sua posição mais ao sul acontece em março-abril, quando chega a 2°S. Essas posições podem variar de cerca de 3° a 4° graus de latitude para norte ou para sul em alguns anos. Tal variação na posição do eixo médio da ZCIT está associada com a ocorrência de secas (posição mais ao norte) e chuvas acima da média (posição mais ao sul). A influência da ZCIT vem sendo estudada desde muito, sendo também os trabalhos de Serra (1941) e Hastenrath e Heller (1977) exemplos pioneiros.

CLASSIFICAÇÃO GERAL DOS MODELOS

Costuma-se classificar os modelos de previsão climática segundo três tipos básicos, a saber, os modelos estatísticos, os modelos numéricos (ou dinâmicos) e os modelos dinâmico-estatísticos. Qualquer que seja a natureza do modelo empregado na previsão climática, para além da complexidade das interações entre o oceano e a atmosfera enfrentada mais diretamente pelos modelos dinâmicos e pelos modelos dinâmico-estatísticos, há também o problema da quantidade, da precisão (inevitável presença de ruído) e da suficiência de registros das variáveis intervenientes, tanto em escala planetária, como em nível regional/local. Seja qual for a natureza do modelo empregado, aqueles que centram foco nas séries temporais, valendo-se de suas características estatísticas (modelos estatísticos), como cerne para prever tendências climáticas, podem ter suas conclusões impregnadas de incertezas comprometedoras da validade dos resultados que oferecem, principalmente quando dilatado é o horizonte da previsão.

Criticados geralmente por não levarem em conta a dinâmica atmosférica, os modelos estatísticos puros, ao utilizarem as séries históricas disponíveis, via de regra, assumem a estacionariedade das mesmas, premissa que igualmente atrai ainda mais críticas acerca da solidez da base científica com que, mais comumente, esses modelos buscam aparentes periodicidades nas séries temporais dos parâmetros atmosféricos, com vistas a extrapola-las para o futuro, associando-se ou não à previsão uma margem probabilística. Subjacentemente, a hipótese parece apoiar-se na suposição de que a dinâmica geradora dos fenômenos climáticos e sua “criatividade” caótica pode ser descrita por combinações de funções periódicas. Ocorre que, tendo natureza determinística, tais funções operam como limitantes do domínio de variância do fenômeno modelado.

Ao longo dos anos de 1980, alguns pesquisadores se arvoraram a prognosticar secas valendo-se dessas formulações baseadas em periodicidades, algumas delas incluindo, dentre os preditores, ciclos de ocorrência de manchas solares, em tese, correlacionadas com a ocorrência de secas no Nordeste brasileiro. O índice de acerto dessas tentativas, bem como de outras, baseadas nos demais tipos de modelos climáticos mencionados, parece haver desencorajado alardes. Em outras áreas do conhecimento tão ou mais complexas, como por exemplo, a Economia, o imperativo da necessidade das previsões, seguido de seus anúncios, não raramente propalados pela mídia, vem gerando comentários jocosos, como o gracejo reverberado em vários países segundo o qual, das últimas seis recessões, os economistas conseguiram prever nove. Na verdade, conforme Loungani (2000), uma estatística verdadeira indica que, na década de 1990, com antecedência de um ano, os economistas previram apenas duas das sessenta recessões no mundo inteiro.

As aplicações dos modelos dinâmicos-estatísticos incorporam em sua estrutura, além de técnicas atinentes aos ramos científicos expressos em sua denominação, o conceito de teleconexões, sendo exemplo mais típico, no caso do Nordeste brasileiro, a conhecida relação à distância entre o El Niño e as secas na região, informação essa que é utilizada na previsão dos fenômenos de declínio de pluviosidade em dado ano, principalmente quando, no ano antecedente, o El Niño, registrado se apresenta de moderado a forte. Por exemplo, concernente ao estado do Ceará (Brasil), estão publicados trabalhos desenvolvidos há mais de meio século voltados a investigar essa e outras relações teleconectivas como, por exemplo, Naniais (1972), Markham e McLain (1977) e Hastenrath e Heller (1977), todos tendo como foco as influências de fenômenos ocorrentes em porções oceânicas distantes (no Atlântico e no Pacífico) sobre a precipitação em diferentes municípios cearenses.

DIFICULDADES E LIMITAÇÕES DA MODELAGEM

De uma perspectiva meramente qualitativa, uma análise empírica tão sucinta quanto simplificada do que reporta a literatura aponta três conclusões relativamente pacificadas no âmbito técnico e científico:

(i) Os anos de ocorrência exacerbada do El Niño estão mais claramente associados à ocorrência de secas no Nordeste do Brasil, parecendo haver um aumento no grau de determinação do fenômeno sobre a redução pluviométrica regional em dado ano, tanto maior venha a ser o aquecimento do Pacífico Equatorial Leste ao final do ano precedente. Bem exemplifica essa hipótese a ocorrência de uma forte anomalia da TSM em 1996, sucedida por três anos consecutivos de seca no Nordeste (1997-1999). Entretanto, não se pode afirmar que a ocorrência de um El Niño signifique, inexoravelmente, a ocorrência de secas no Nordeste.

(ii) A ocorrência de anos mais úmidos na região é favorecida quando o Atlântico Sul apresenta temperaturas mais elevadas que as observadas no Atlântico Norte, formando assim o dipolo associado a pressões atmosféricas de menor monta ao sul do equador, facilitando que a ZCIT alcance sua posição mais extremada nessa direção; e

(iii) O resfriamento da TSM no Pacífico Equatorial Leste, fenômeno batizado de La Niña, encontra-se associado ao aumento das precipitações na região. Por interferirem no posicionamento

da ZCIT, esses fenômenos influenciam a variabilidade interanual dos montantes precipitados na estação chuvosa nordestina, em particular em sua porção setentrional.

Como se sabe, previsões climáticas, além de apresentarem consideráveis limitações quanto à antecedência, bem como em relação à extensão do intervalo de tempo predito (e.g. quadra chuvosa do semiárido nordestino setentrional), somente são válidas para grandes regiões, ou seja, não incorporam a variabilidade espaço-temporal dos fenômenos dentro do domínio geográfico focado.

Em se tratando do semiárido setentrional nordestino, parece óbvio que, ao se intentar utilizar preditores climáticos como variáveis independentes em modelos voltados a estimar precipitações ou vazões em exultórios específicos, não se pode esperar que sejam encontradas relações unívocas entre variáveis climáticas como o El Niño e, por exemplo, a precipitação pontual, medida nos postos pluviométricos da bacia hidrográfica de interesse. Mesmo em se adotando como variável dependente a precipitação média sobre a área drenante para determinada seção fluvial ou a correspondente resposta da bacia na forma de vazão é ingênuo ignorar que não será a sofisticação matemática do modelo empregado o diferencial capaz de sobrepujar a complexidade interativa gerada por inumeráveis variáveis interferentes (conhecidas e não conhecidas) e seus acoplamentos não lineares geradores do fenômeno natural.

Índices referentes à TSM têm sido considerados na concepção de modelos visando analisar teleconexões com precipitações e vazões em diferentes escalas de tempo. Trabalhos como, por exemplo, Dettinger & Diaz (2000) investigaram precipitações e vazões em nível de discretização mensal como influenciadas pelas anomalias de temperatura nos oceanos Atlântico e Pacífico, em escala global em termos de valores médios em células de 5° por 5°. Conforme apresenta Araújo et al. (2020) em artigo voltado à previsão sazonal de vazões afluentes à barragem de Orós (Ceará, Brasil), no qual são comparados os desempenhos de redes neurais e a técnica de reamostragem dos K-vizinhos (Souza e Lall, 2003) há situações em que modelos matematicamente sofisticados podem levar a resultados apenas “um pouco melhor do que utilizar a média histórica da série de vazões para realizar a previsão de vazões”.

Concernente especificamente ao semiárido setentrional brasileiro, com sua rede hidrográfica onde prepondera a intermitência fluvial ou rios artificialmente perenizados, embora todos os esforços de pesquisa empreendidos até o presente, bem como os trabalhos em curso e os que virão, tenham o mérito de gerar artigos, dissertações e teses, infelizmente, até agora não há resultados úteis do ponto de vista prático, ou seja, passíveis de uso na gestão operacional hídrica e, muito menos, no planejamento de intervenções infraestruturais. Dada a importância de previsões consistentes para os fins práticos mencionados, qualquer “descoberta” com alcance maior do que os explanados nas pesquisas até então publicadas, deve ser alardeada com toda a ênfase de que ela seria merecedora.

MODELAGEM DO SPI E DOS DEFLÚVIOS MÉDIOS ANUAIS

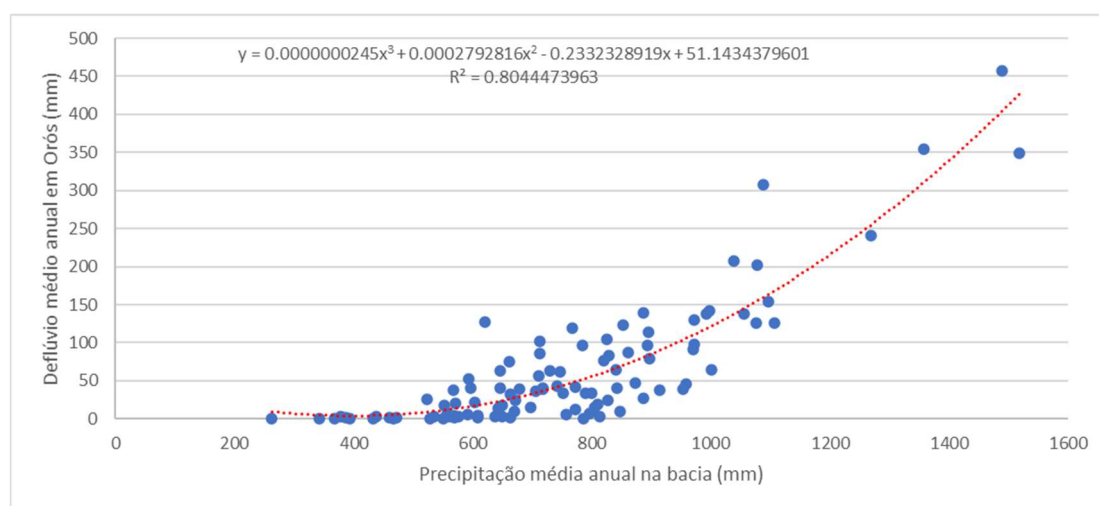
Consideraremos agora a possibilidade de realizar previsão do SPI (Standardized Precipitation Index), bem como dos deflúvios médios anuais para a área de drenagem controlada pela barragem de Orós – CE (Brasil). A série de precipitações empregada no cálculo do SPI é a série de totais anuais médios estimados por meio da aplicação do método de Thiessen automatizado (Sarmiento e Martins, 1991), que traz a vantagem de aproveitamento máximo de toda a informação consistente disponível na rede de monitoramento pluviométrico da bacia. Antes da determinação da série correspondente de SPI, os dados individuais de cada posto pluviométrico passaram por minuciosa análise de consistência baseada no método do Vetor Regional (Heiz e Racan, 1983), conforme aplicado por Sarmiento (1991).

A segunda aplicação envolve a série de deflúvios médios anuais obtidos pela transformação da série de precipitações médias diárias via modelo chuva-vazão denominado MODHAC (Modelo Hidrológico Autocalibrável, Lanna e Swartzbach, 1989). As vazões calculadas pelo MODHAC (passo de cálculo diário, resultando em vazões médias mensais), totalizadas em nível anual

(convertidas em mm) representam o escoamento gerado na bacia associado ao total anual precipitado (média espacial), cujo quociente representa o rendimento médio anual na área controlada pela barragem em questão. Essa relação é ilustrada na Figura 1, mostrada a seguir, conjuntamente com um polinômio de grau 3 ajustado aos pontos, com coeficiente de determinação $R^2 = 0,80$.

Conforme já comentado, as flutuações interanuais na precipitação do Nordeste brasileiro são atribuídas principalmente aos dois oceanos tropicais, Pacífico (ENOS) e Atlântico (Dipolo), em particular nos anos em que não atuam dos mecanismos regionais influentes na pluviometria. Os dados de anomalias de temperatura a serem empregados estão disponíveis em <https://psl.noaa.gov/data>.

Figura 1: Relação entre o deflúvio média anual e a precipitação média anual na bacia controlada pela barragem de Orós (Ceará-Brasil)



Em ambos os exemplos, intenta-se realizar previsões, com seis meses de antecedência, do SPI e do deflúvio médio anual e os seguintes preditores climáticos: Nino3 TSM LESTE do Pacífico Tropical (5°N-5°S;150°W-90°W); TNA - Índice Atlântico Norte Tropical – Anomalia da TSM (5,5°N-23,5°N;15°W-57,5°W) e TSA - Índice Atlântico Sul Tropical – Anomalia da TSM (0°-20°S;10°E-30°W).

Nas Figura 2, 3 e 4 são mostrados graficamente os pontos correspondentes à média de cada preditor climático para os meses abril – maio – junho com o total médio anual de precipitação no ano subsequente. Na modelagem a ser apresentada, note que o uso do SPI representa uma espécie de transformação da precipitação média anual para um espaço de variabilidade correspondente ao que abrange a distribuição normal padrão, uma vez que o SPI é dado como o número de desvios padrão do qual a variável pluviométrica se distancia da média. Logo, o intervalo de variação da série temporal assim transformada passa a ser aquele que, de maneira significativa, varia aproximadamente entre -3 e + 3.

As Figuras 2 e 3 permitem uma aceitação mais fácil da linha mostrada em ajuste aos pontos como representativa de uma tendência: (i) no primeiro caso, de redução da pluviometria média anual no ano subsequente aos eventos de ENSO, à medida que ocorre o aquecimento das águas no Pacífico; (ii) no segundo caso, de aumento da pluviometria com o aumento da TSM no Atlântico Tropical Sul, facilitadora do deslocamento da ZCIT na direção do semiárido setentrional brasileiro. Menos clara como indicativo de uma tendência subjetivamente defensável enquanto determinante isolado da variabilidade pluviométrica na bacia do reservatório em tela vem a ser a configuração mostrada na Figura 4, onde a nuvem de pontos se apresenta praticamente paralela ao eixo horizontal.

Figura 2: Precipitação média anual (mm) na área controlada pela barragem de Orós (Ceará-Brasil) e a anomalia média de TSM El Niño (Niño3) nos meses de abril a maio do ano precedente à precipitação.

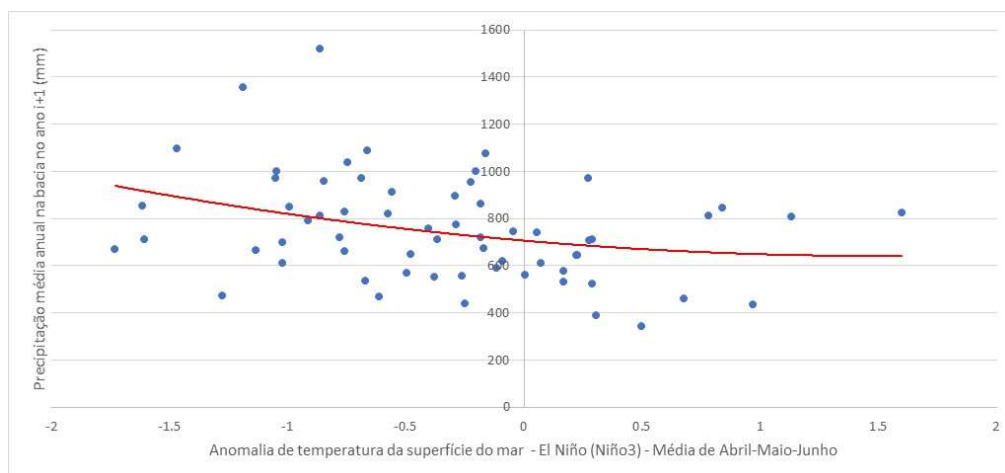


Figura 3: Precipitação média anual (mm) na área controlada pela barragem de Orós (Ceará-Brasil) e a anomalia média de TSM Atlântico Sul (TSA) nos meses de abril a maio do ano precedente à precipitação.

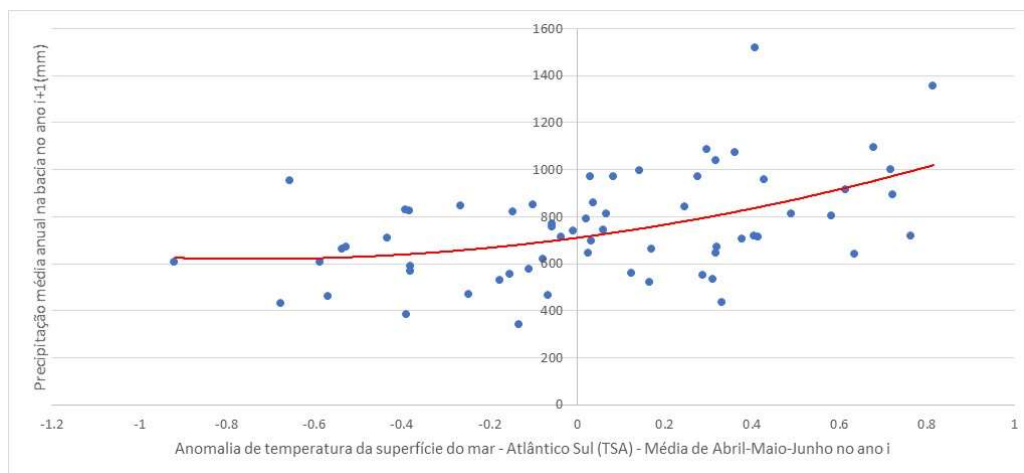
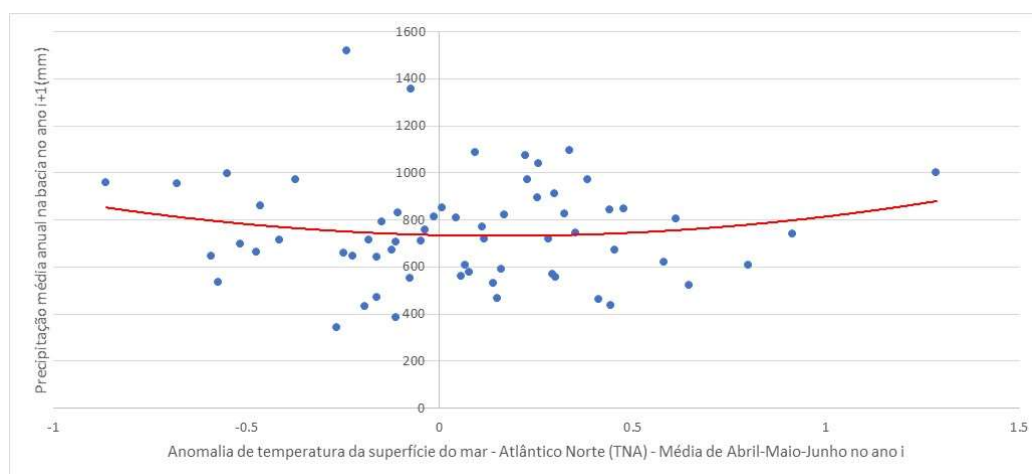


Figura 4: Precipitação média anual (mm) na área controlada pela barragem de Orós (Ceará-Brasil) e a anomalia média de TSM Atlântico Norte (TNA) nos meses de abril a maio do ano precedente à precipitação.



Não se pode esquecer que o índice TNA atua em composição com o índice TSA, sendo favorável ao incremento pluviométrico na região focada quando o valor do primeiro é negativo e o

valor do segundo positivo, estabelecendo assim um gradiente que vai das temperaturas mais baixas para mais altas no sentido norte-sul no Atlântico Tropical. Embora não estejamos lidando com relações lineares, os coeficientes de correção linear entre as precipitações médias anuais na bacia e as três variáveis climáticas ENSO, TSA e TNA são iguais a -0,304; 0,453 e -0,019, respectivamente.

SPI – STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX

O SPI foi proposto por McKee et al. (1993) e, nas palavras dos autores, é calculado a partir de um conjunto de dados de precipitação mensal contando com um período de m meses, idealmente uma série contínua de pelo menos 30 anos. O SPI pode ser calculado para escalas de tempo arbitrárias, sendo típicas, porquanto determinam déficit de precipitação que afetam as fontes hídricas disponíveis, as escalas temporais de 3, 6, 12, 24 ou 48 meses. O procedimento de cálculo consiste em ajustar os dados à função Gama para definir a relação entre a probabilidade e a precipitação. Ainda conforme os autores, uma vez que a relação entre probabilidade e precipitação é estabelecida a partir dos registros históricos, a probabilidade de qualquer ponto de dados de precipitação observada é calculada e usada para se obter a abcissa correspondente em uma distribuição Normal padrão, ou seja, com média zero e desvio padrão unitário. Este valor é o SPI para um determinado ponto de dados de precipitação.

O SPI pode ser entendido como uma transformação matemática que associa a cada valor de precipitação do conjunto de dados disponível (função da escala temporal adotada) o número de desvios padrão de que uma variável aleatória com distribuição de probabilidade normal se afasta da média do valor histórico registrado. Assim, admitindo-se que a precipitação em nível mensal não segue uma distribuição normal, aplica-se inicialmente uma transformação tal que os valores transformados tenham distribuição gaussiana e o SPI médio para uma localização e período desejados seja zero. A função de distribuição de probabilidades gama é expressa por:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, \quad x > 0 \quad (1)$$

Onde α é denominado fator de forma, β fator de escala e x a quantidade de precipitação na série em apreciação. $\Gamma(\alpha)$ representa a função gama definida como:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

Pelo método de aproximação de Thom (1966), os parâmetros α e β podem ser estimados pelo método da máxima verossimilhança. Sendo \bar{x} a média aritmética dos valores da série pluviométrica utilizada e x_g a média dos logaritmos naturais da mesma série, tomando-se $A = \ln(\bar{x}) - x_g$, os estimadores dos parâmetros $\hat{\alpha}$ e $\hat{\beta}$ são dados por:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (3)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (4)$$

A função densidade de probabilidade acumulada $G(x)$ é expressa como:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx \quad (5)$$

A integral acima não tem solução analítica, mas pode ser manipulada até mesmo valendo-se de funções matemáticas disponíveis em planilhas eletrônicas comerciais. Caso a série observada contenha valores nulos, a indefinição da função gama para $x = 0$ implica na necessidade de admitir uma nova função $H(x)$ dada por:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (7)$$

Onde: q é a probabilidade de ocorrência de valores nulos na série histórica considerada estimada como a proporção entre o número de valores nulos (m) e o número total de valores da série (n). A função $H(x)$ é então convertida em variável aleatória normal padronizada Z com média zero e variância unitária, corresponde ao valor do SPI expresso como:

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ para } 0 < H(x) \leq 0,5 \quad (8)$$

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \text{ para } 0,5 < H(x) < 1,0 \quad (9)$$

Sendo: $t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)}$ para $0 < H(x) \leq 0,5$ e $t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1,0-H(x))^2}\right)}$ para $0,5 < H(x) < 1,0$

As constantes referenciadas são: $c_0 = 2,515517$; $c_1 = 0,802853$; $c_2 = 0,010328$; $d_1 = 1,432788$; $d_2 = 0,189269$; $d_3 = 0,001308$.

REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, J. O. R. “*A general circulation model investigation of the atmospheric response to El Niño*”, National Center for Atmospheric Research,. 144 pp. (NCAR Cooperative Thesis, 100), 1986.
- CAVIEDES, C. N. “*Secas and El Niño: two simultaneous climatological hazards in South America*”. Proceedings of the Association of American Geography, v.5, pp. 44-49, 1972.
- DETTINGER, M.D.; DIAZ, H.F. “*Global characteristics of streamflow seasonality and variability*”. Journal of Hydrometeorology, 1, p289-310, 2000.
- HASTENRATH, S., e HELLER, L. “*Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil*”. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Berkshire, v. 103, pp. 77-92, 1977.
- HIEZ, G. L. G.; RANCAN, L. “*Aplicação do Método do Vetor Regional no Brasil*”. In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, 5., 13 a 18 nov. 1983, Blumenau-SC. Anais [...]. Blumenau: ABRHidro, 1983. v. 2.
- LANNA, A. E. L.; SCHWARZBACH, M. “*MODHAC: Modelo Hidrológico Autocalibrável*”. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, 1989. 55 f. (Recursos Hídricos, Publicação n. 21).
- LOUNGANI, Prakash. “*The Arcane Art of Predicting Recessions*”. Financial Times via International Monetary Fund, 18 de dezembro de 2000. Disponível em <http://www.imf.org/external/np/vc/2000/121800.htm>.
- MARKHAM, C. G.; e McLAIN “*Sea surface temperature related to rain in Ceará, North-eastern Brazil*”, Nature, 265, p. 320-323, 1977.
- MCKEE, T. B., DOESKEN, N. J., & KLEIST, J. “*The relationship of drought frequency and duration of time scales*”. In Eighth Conference on Applied Climatology (p. 179–186). Anaheim CA: American Meteorological Society. 1993

- NAMIAS, J. “*Influence of Northern Hemisphere general circulation on drought in Northeast Brazil*”, *Tellus*, v. 4, p. 336-343, 1972.
- RAJAGOPALAN, B.; LALL U.; ZEBIAK S. E. “*Categorical climate forecasts through regularization and optimal combination of multiple GCM ensembles*”. *Monthly Weather Review*, v.130(7), p. 1792 - 1811, 2002.
- SARMENTO, F. J. “*Consistência e Preenchimento de Falhas em Séries Pluviométricas através do Vetor Regional*”. In: IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1991, Rio de Janeiro. Anais do IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1991. v. 3.
- SARMENTO, F. J.; MARTINS, E. S. P. R. “*Cálculo dos Coeficientes de Thiessen em Microcomputador*”. In: Congresso Latino-Americano de Hidráulica, 14., 6-10 nov. 1990, Montevideu, Uruguai. Anais [...]. Montevideu: IAHR, 1990.
- SERRA, A. B. “*The general circulation over South America*”. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 22, p. 173-179, 1941.
- SOUZA FILHO, F. A.; LALL, U. “*Seasonal to interannual ensemble streamflow forecasts for Ceara, Brazil: Applications of a multivariate, semiparametric algorithm*”, *Water Resour. Res.*, 39(11), 1307, doi:10.1029/2002WR001373, 2003.
- THOM, H. C. S. “*Same methods of climatological analyses*”. World Meteorological Organization. (WMO), Geneva, 53p, 1966; TP, 103; Technical note.81. 1966.