

Previsão através de mapas de probabilidades - O caso das precipitações anuais no Estado da Bahia

Barbara-Christine Nentwig Silva*

Mostramos no artigo "Contribuição à metodologia da cartografia temática: o exemplo da variabilidade das precipitações anuais no Estado da Bahia" (Geografia, 6 (11/12): 179-197, out. 1981) técnicas que destacam a variabilidade ou as variações de um fenômeno através do tempo e do espaço, tomando o exemplo das precipitações inter-anuais no Estado da Bahia. Regiões com grandes, médias ou pequenas variações de precipitação inter-anual podem ser detectadas desta maneira, destacando regiões sensíveis às secas ou enchentes periódicas.

Considerando que no Brasil o problema das secas é extremamente grave para o sertão do Nordeste, devemos, dentre outras análises, mostrar técnicas que indicam a probabilidade do fenômeno chuva ocorrer ou não e indicar, através de um mapeamento apropriado das probabilidades, as regiões mais provavelmente sujeitas a secas. Compete ao meteorologista e ao climatólogo encontrar as razões deste fenômeno e aos planejadores propor meios para superar os problemas de escassez de chuvas.

O objetivo deste estudo é de natureza metodológica, propondo um tipo de previsão, através de mapas de probabilidades. Estes mapas, baseados em cálculos matemático-estatísticos, cujos valores são mostrados cartograficamente, são importantes, por exemplo, para o planejamento agrícola, ajudando a previsão e a tomada de decisões, seja da parte do Governo, do investidor ou da população afetada.

METODOLOGIA

Em muitos casos, constatamos que a precipitação anual, observada durante uma seqüência de anos numa estação determinada, tem a tendência de forma simétrica em torno de um valor central, ou seja, a distribuição de freqüência tem a característica da curva normal com uma média X e

* Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia. Trabalho realizado com apoio do CNPq.

um desvio padrão s . Este teste de normalidade dos dados deve ser feito para os dados de cada estação meteorológica, seja com ajuda do computador ou, com relativa facilidade, com as calculadoras eletrônicas de mesa, utilizando a fórmula $a_3 = \frac{1}{ns^3} \sum (X_i - \bar{X})^3$ para o cálculo do terceiro momento, que mostra a simetria da distribuição, e a do quarto momento (curtose) $a_4 = \frac{1}{ns^4} \sum (X_i - \bar{X})^4$, que indica o grau de achatamento

da distribuição. Se os respectivos valores de a_3 e a'_4 ($a'_4 = a_4 - 3$) estão próximos de zero, consideramos a distribuição de chuva inter-anual nesta determinada estação como normal. A decisão, por sua vez, sobre se estes valores estão próximos a zero pode ser feita com o auxílio de tabelas, para testar a assimetria e curtose (por exemplo, a tabela para estatísticos e biométricos, de Pearson e Hartley (1970)).

No caso em que a distribuição da precipitação de um ano para outro não apresente uma distribuição que possa ser considerada como normal, aconselha-se tentar uma transformação logarítmica dos dados originais para testar se se consegue uma log-normalidade para os dados. É raro na Geografia o fato de não se obter uma transformação através de logaritmos, mas, se isto ocorrer, existem outras transformações (v. Gerardi e Silva (1981), p. 142-148).

Apresentamos, neste trabalho de caráter metodológico, dois principais tipos de mapas. Para o primeiro, fixamos o valor crítico de precipitação anual e formulamos a pergunta: qual é a probabilidade de anos com menos de um valor determinado de chuva? Fixamos para o nosso exemplo o valor crítico com 800 mm, uma vez que as regiões onde a precipitação anual está abaixo deste valor podem estar mais sujeitas a problemas de secas.

Representando o problema graficamente, destacamos três possibilidades básicas. No primeiro caso, presumindo sempre a normalidade da distribuição, o valor crítico está abaixo da média (aritmética) da seqüência dos anos de observação da determinada estação (v. fig. 1a). No segundo caso, o valor crítico está acima da média (v. fig. b) e no terceiro caso, que poderia teoricamente acontecer, a média e o valor crítico coincidem (v. fig. 1c).

Entende-se que o valor crítico X deve ser fixado segundo o objetivo da pesquisa. Uma vez determinado, como no nosso exemplo com 800 mm, devemos calcular o valor de z para o valor crítico de X , ou seja, para 800 mm, segundo a fórmula $z = \frac{X_i - \bar{X}}{s}$. Nas diferentes estações meteorológicas o valor de X , de s e, conseqüentemente, de z é diferente. Assim, a operação deve ser efetuada individualmente para cada estação.

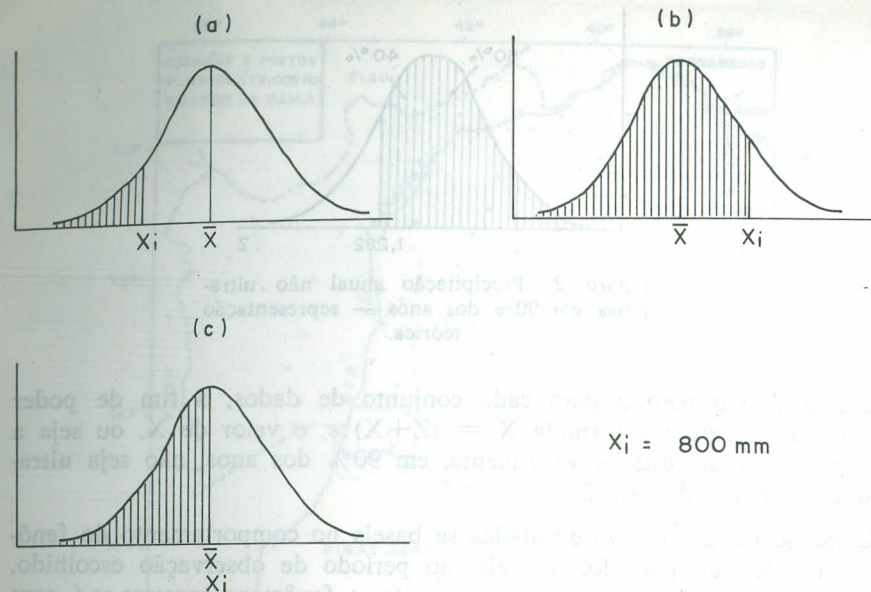


Figura 1. Precipitação anual menor que 800 mm — representação teórica.

Depois de ter calculado z consultamos a tabela que indica as áreas abaixo da curva normal (Gerardi e Silva, 1981, p. 158). Lembramos que a tabela fornece as áreas entre a média e o valor de z . Assim, no caso teórico da figura 1a, devemos diminuir de 50%, que corresponde à metade da área abaixo da curva, o valor encontrado na tabela para determinar a área hachurada no desenho, que, por sua vez, corresponde à probabilidade (em %) de ocorrências anuais igual ou abaixo de $X = 800$ mm. No exemplo da figura 1b somamos 50% com o valor encontrado na tabela e no exemplo da figura 1c a probabilidade de uma ocorrência abaixo de X é de 50%.

Para os dados com log-normalidade da distribuição, faz-se toda a operação descrita acima, com os dados transformados. Depois de calcular com os dados transformados o valor z , prossegue-se da mesma maneira anterior para achar através da tabela as probabilidades.

Para o segundo tipo de mapa, determinamos a porcentagem de ocorrência crítica e perguntamos: qual é, segundo a previsão, a altura da precipitação não ultrapassada em uma porcentagem prefixada de anos? A porcentagem crítica foi definida no nosso exemplo com 90%, mas este valor depende também do objetivo específico do estudo. A figura 2 mostra, em relação à curva normal, a colocação da pergunta. O procedimento do cálculo é o inverso do exemplo anterior. Devemos, na base da tabela das áreas abaixo da curva normal, encontrar o valor de z . Com interpolação linear determinamos que, para 40% z é 1,282, sendo este valor o mesmo para cada estação. Da mesma forma que no mapa anterior, calcula-se a média aritmética

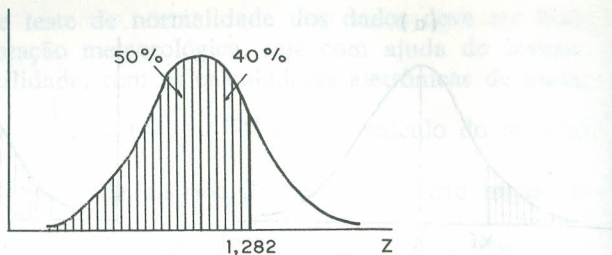


Figura 2. Precipitação anual não ultrapassa em 90% dos anos — representação teórica.

tica e o desvio padrão para cada conjunto de dados, a fim de poder determinar, segundo a fórmula $X = (Z + X) \cdot s$, o valor de X, ou seja a precipitação anual que provavelmente, em 90% dos anos, não seja ultrapassada numa dada estação.

Como se vê, a predição estatística se baseia no comportamento do fenômeno no período passado, ou seja, no período de observação escolhido. Presume-se desta maneira que, futuramente, o fenômeno mostrar-se-á com a mesma característica do passado, isto é, exclui-se a hipótese de que novas variáveis influenciarão o fenômeno sobre o qual queremos fazer a previsão. Mesmo assim, as predições podem somente ser feitas na base de probabilidade. Entende-se que não tem sentido fazer predições para fenômenos que, já no nosso conhecer, estão sofrendo sensíveis mudanças. Por exemplo, em áreas com grandes desflorestamentos, vão ocorrer com muita probabilidade mudanças climáticas, de tal maneira que uma previsão na seqüência de anos passados não pode ser feita.

APLICAÇÃO

Utilizamos, para o Estado da Bahia e regiões adjacentes, dados de precipitação anual para 147 estações e postos meteorológicos, com uma seqüência de observação máxima de 26 anos (1945-1970), publicados pela SEPLANTEC-CEPLAB (1978). A figura 3 mostra a localização destas estações e postos de referência no Estado da Bahia. Como se observa, a rede de observação é, em relação ao tamanho do Estado, pouco densa e a distribuição irregular, o que dificulta o desenho das isolinhas e a análise final, no sentido de que, nas regiões com escassez de dados, podemos somente indicar as tendências do fenômeno.

Os mapas foram desenhados inicialmente na escala 1:2.500.000, com ajuda dos mapas topográficos e da rede de drenagem para mais corretamente traçar as isolinhas, particularmente nas regiões de poucas estações. Posteriormente, fizemos a redução de escala.

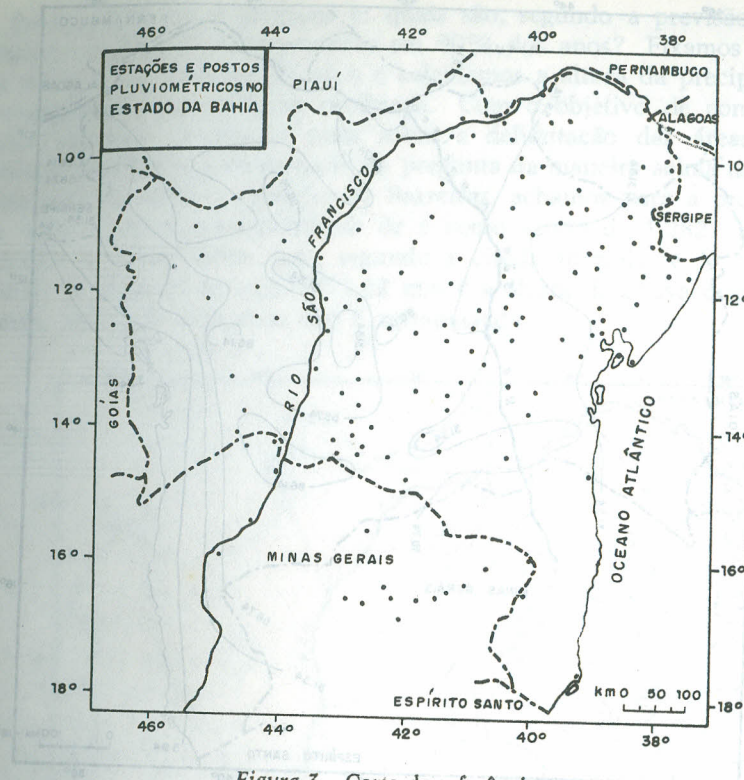


Figura 3. Carta de referência.

Com a técnica escolhida, apresentamos para o Estado da Bahia o mapa das probabilidades de anos com precipitação abaixo de 800 mm (fig. 4). Calculamos, para cada uma das 147 estações, a probabilidade de precipitação anual menor que 800 mm, segundo o procedimento explicado anteriormente. Assim, determinamos, por exemplo, para a estação de Barreiras (12°9'S e 44°59'W) a média de precipitação para 26 anos de observação como sendo 930,10 mm e o desvio padrão como 266,40 mm, podendo em seguida calcular z que é $-0,49$ ($z = \frac{800-930,10}{266,40}$). O valor de z

corresponde, segundo a tabela das áreas abaixo da curva normal, a probabilidade de 18,79%. Sendo que a média de precipitação anual de Barreiras é acima de 800 mm, devemos diminuir de 50% o valor de 18,79% e podemos agora dizer: em 31,21% dos anos podemos esperar, em Barreiras, precipitação abaixo de 800 mm.

Somente em 25 estações o teste de normalidade que precede os cálculos foi insatisfatório, mas conseguimos uma normalização através da transformação logarítmica.

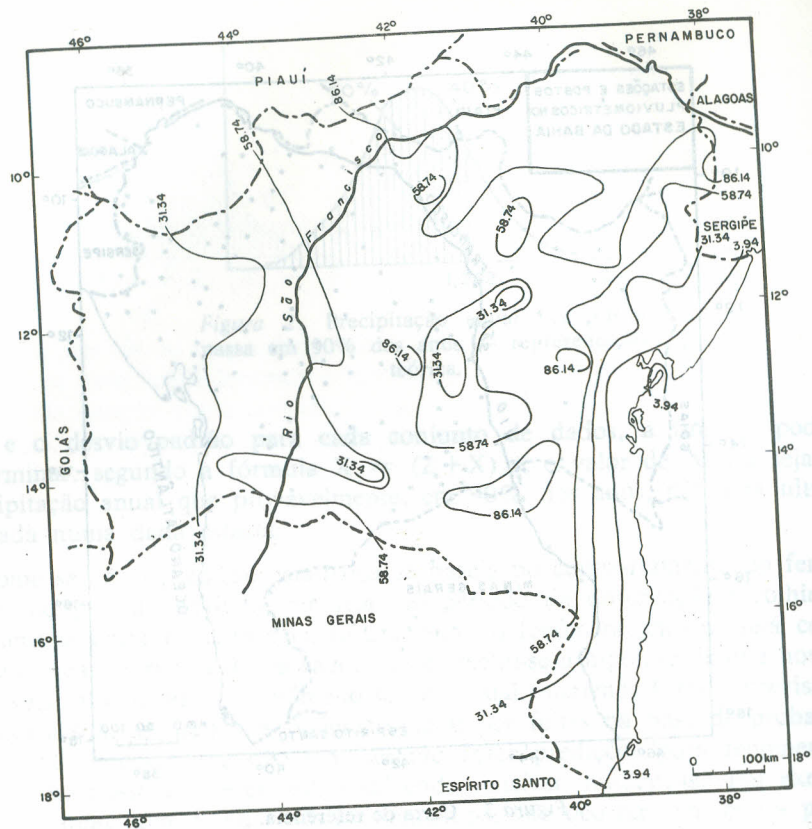


Figura 4. Probabilidade (em %) de ocorrência de precipitação anual menor que 800 mm

Para este mapa, a classificação se baseia na curva normal, com três classes abaixo e duas acima da média, sendo o intervalo de classe de um desvio padrão (v. para a técnica de classificação, Gerardi e Silva, 1981, p. 137-148). Destacam-se as regiões com alta probabilidade de ocorrência de chuva anual abaixo de 800 mm, situadas no Norte do Estado, tendo a estação de S. Pedro, no município de Sento Sé, com 99,99% a mais alta probabilidade de ocorrência abaixo do valor fixado. Aparecem ainda, nesta região norte, as estações de Casa Nova, com 99,13%, Chorrochó, com 99,32%. Cipó de Leite, no município de Pedro Alexandre, com 99,57%, Glória, com 99,71%, Juremal, no município de Juazeiro, com 99,36% e Paulo Afonso, com 99,40% de probabilidade.

Existe uma segunda área com altas probabilidades entre Poções (96,78%), Jequié (93,57%) e Aracatu (89,97%), e duas pequenas áreas isoladas em torno de Boninal (90,99%) e Santa Terezinha (92,36%). Por outro lado, toda a faixa litorânea da Bahia registra as menores probabilidades de precipitação abaixo de 800 mm, sendo de 0,00% para a estação de Ilhéus.

Para a figura 5 a pergunta é: quais são, segundo a previsão, as precipitações anuais não ultrapassadas em 90% dos anos? Fixamos neste tipo de mapa a porcentagem de anos e calculamos a altura da precipitação que corresponde à porcentagem prefixada. Com o objetivo de concentrar no nosso exemplo o enfoque mais sobre a delimitação das áreas secas do Estado, justifica-se a formulação da pergunta da maneira acima mencionada. Tomando de novo o exemplo de Barreiras, achamos para a probabilidade de 40% o valor correspondente de z como sendo de 1,282. Falta agora calcular o valor crítico, que, segundo a citada fórmula, é $X = (1,282 \cdot 266,4) + 930, 1$, ou seja, 1271,62 mm é a altura de chuva que, provavelmente, em 90% dos anos não é ultrapassada.

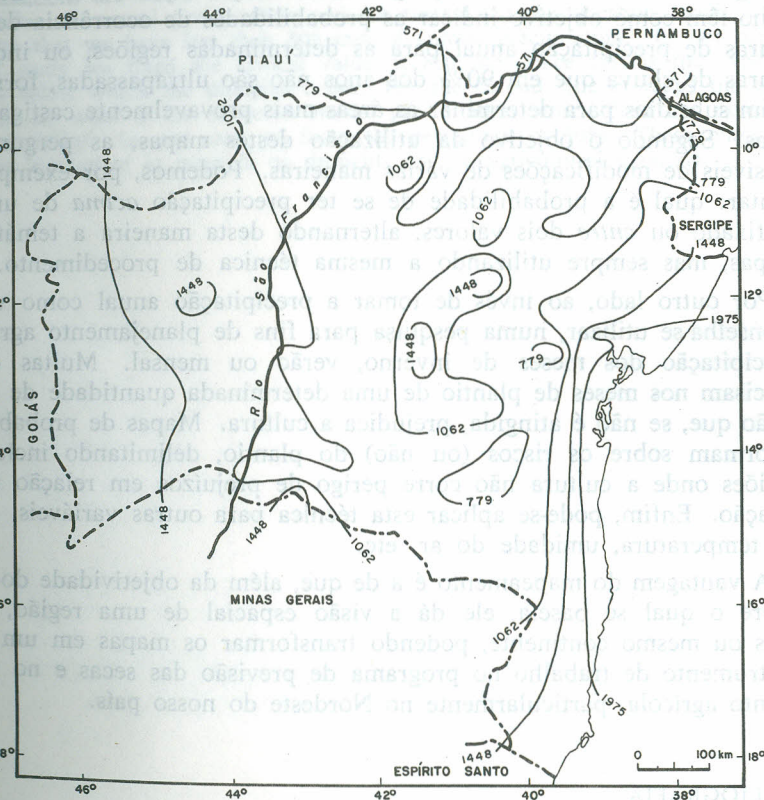


Figura 5. Probabilidade de ocorrência de precipitações anuais não ultrapassadas em 90% dos anos (em mm)

A classificação foi feita em analogia ao exemplo anterior, somente com a diferença de que os valores calculados de X das 147 estações foram transformados em logaritmos, para conseguir uma log-normalidade. O

intervalo de classe para os dados transformados é de um desvio padrão em unidades logarítmicas, resultando que os intervalos de classe em unidades antilogarítmicas (originais) não são constantes.

Os menores valores de precipitação anual, provavelmente não ultrapassadas em 90% dos anos, estão novamente em torno de São Pedro (512,34 mm), Juazeiro (558,99 mm), Chorrochó (510,20 mm) e Glória (568,23 mm), contrastando com o litoral e o Recôncavo baiano.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo a formulação da pergunta, os mapas apresentados neste trabalho têm como objetivo indicar as probabilidades de ocorrência de baixas alturas de precipitação anual para as determinadas regiões, ou indicar as alturas de chuva que em 90% dos anos não são ultrapassadas, fornecendo assim subsídios para determinar as áreas mais provavelmente castigadas por secas. Segundo o objetivo da utilização destes mapas, as perguntas são passíveis de modificações de várias maneiras. Podemos, por exemplo, perguntar: qual é a probabilidade de se ter precipitação *acima* de um valor prefixado ou *entre* dois valores, alternando desta maneira a temática dos mapas, mas sempre utilizando a mesma técnica de procedimento.

Por outro lado, ao invés de tomar a precipitação anual como variável, aconselha-se utilizar, numa pesquisa para fins de planejamento agrícola, a precipitação dos meses de inverno, verão ou mensal. Muitas culturas precisam nos meses de plantio de uma determinada quantidade de precipitação que, se não é atingida, prejudica a cultura. Mapas de probabilidades informam sobre os riscos (ou não) do plantio, delimitando inclusive as regiões onde a cultura não corre perigo de prejuízos em relação à precipitação. Enfim, pode-se aplicar esta técnica para outras variáveis, como a da temperatura, umidade do ar, etc.

A vantagem do mapeamento é a de que, além da objetividade do cálculo sobre o qual se baseia, ele dá a visão espacial de uma região, estado, país ou mesmo continente, podendo transformar os mapas em um valioso instrumento de trabalho no programa de previsão das secas e no planejamento agrícola, particularmente no Nordeste do nosso país.

BIBLIOGRAFIA

- Bahia, Seplantec, Centro de Planejamento da Bahia-CEPLAB (1978) *Atlas climatológico do Estado da Bahia*. Análise espacial das chuvas. (Documento n.º 2 — anexo).
- Gerardi, L. H. de Oliveira e Silva, B. C. Nentwig (1981) *Quantificação em Geografia*. São Paulo, Difel.
- Gregory, S. (1978) *Statistical methods and the geographer*. 4. ed., London, Longman.
- Nimer, E. (1979) *Pluviometria e recursos hídricos de Pernambuco e Paraíba*. Rio de Janeiro, IBGE.

Pearson, E. S. e Hartley, H. O. (1970) *Biometrika tables for statisticians*. Cambridge, The Biometrika Trustees at the University Press, Vol. 1.

Silva, B. C. Nentwig (1981) Contribuição à metodologia da cartografia temática: o exemplo da variabilidade das precipitações anuais no Estado da Bahia. *Geografia*, Rio Claro, 6 (11/12): 179-197.

ABSTRACT: Predictions based on probability maps — the case of annual precipitation in the State of Bahia

The aim of this paper is to contribute to the analysis of the rainfall distribution in the State of Bahia using quantitative techniques associated with cartography. We prepared two types of maps indicating the probability of precipitation occurrence. The calculations are based on the normal curve. For the first type we fixed the critical value of annual precipitation and we formulated the question: what is the probability that we have less than 800 mm of annual precipitation? In our methodological study we fixed the critical value at 800 mm since this is the expected threshold below which the droughts occur. For the second type of maps the question asked is: what is the expected annual precipitation which does not exceed a given probability? In our case we fixed the percentage at 90%. These maps are a relevant instrument in research on droughts and on agricultural planning.