

Artigo Técnico

Análise de frequência de secas utilizando técnica de agrupamento e distribuições de probabilidades

Analysis of drought frequency using clustering technique and probabilities functions

Valneli da Silva Melo^{1*} , Francisco de Assis Salviano Sousa¹ 

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi o de ajustar funções de densidade de probabilidades aos índices de severidade de seca (mm) e duração de seca (meses) em três sub-regiões do semiárido brasileiro. Para tanto, foram utilizados dados de totais mensais precipitados de 320 postos pluviométricos, relativos ao período de 1984 a 2014, gentilmente cedidos pela Agência Nacional de Águas. Foram utilizados o método RUN e os totais mensais precipitados para se obterem os índices que caracterizam a seca: severidade (mm) e duração (meses). Em seguida, utilizou-se a técnica de análise de agrupamento para regionalizar esses índices. O passo seguinte foi obter os ajustes à função distribuição de probabilidades para cada uma das sub-regiões. As funções distribuição de probabilidades gama biparamétrica, *generalized extreme value* (GEV) e logística foram as que melhor se ajustaram aos índices de severidade (mm) e os modelos GEV, Weibull tri paramétrica e gama biparamétrica ajustaram-se melhor aos índices de duração para as sub-regiões homogêneas 1, 2 e 3, respectivamente.

Palavras-chave: duração de seca; severidade de seca; climatologia do semiárido brasileiro.

ABSTRACT

The objective of this work was to adjust probabilities density function to drought indexes: Severity and Duration in three sub-regions of Brazilian semi-arid (BSA). For that, were used data of total monthlies precipited of 320 rain stations for period from 1984 to 2014, kindly provided by the Agência Nacional de Águas (ANA). Were used the "Run Method" and total monthlies precipited for obtain the monthlies indexes that characterize the drought: Severity (mm) and Duration (months). We then used the Cluster Analysis technique to regionalize theses characteristic drought indexes. The following step was to adjust probabilities density functions to drought indexes: Severity and Duration in three sub-regions of in the Brazilian semi-arid (BSA). The Gamma bi-parametric, Generalized Extreme Value (GEV) and Logistics functions were better adjusted to the indices of drought Severity (mm) and the GEV, Weibull tri-parametric and bi-parametric models, were better adjusted to drought indices Duration, to the homogeneous sub-regions 1, 2 and 3, respectively.

Keywords: drought duration; drought severity; climatology of Brazilian semi-arid.

INTRODUÇÃO

O primeiro relato de seca no semiárido brasileiro (SAB) foi feito em 1583, pelo padre Fernão Cardin, embora esse fenômeno seja tão antigo quanto o surgimento do homem na Terra. A seca é um fenômeno natural que se diferencia nitidamente de outros, tais como furacões, terremotos, tsunamis e erupções vulcânicas. Enquanto estes se iniciam e terminam repentinamente, além de se restringirem, normalmente, a uma pequena área, a seca quase sempre se inicia lentamente, apresenta longa duração e geralmente afeta uma extensa área (FREITAS, 1998). Em casos graves, pode durar anos e ter efeitos devastadores na agricultura, na pecuária e no abastecimento de água (WILHITE; SVOBODAHAYES, 2007).

A região do SAB é sensível à variabilidade climática. O cenário das mudanças climáticas indica que essa área poderá ser afetada pelo *deficit* de chuvas e o aumento da aridez já no próximo século (MARENGO; BERNASCONI, 2015; VIEIRA *et al.*, 2010). Se essas mudanças forem significativas em âmbito regional, poderão causar sérios impactos socioeconômicos e ambientais (MALUF *et al.*, 2011).

Por causa dos impactos diretos e indiretos da seca, 1,3 milhão de vidas humanas foram perdidas (OBASI, 1994). Segundo o United States Department of Agriculture — (USDA, 1994), quase 50% das áreas mais populosas do mundo são altamente vulneráveis à seca e as grandes áreas agrícolas estão localizadas em regiões suscetíveis a ela. O monitoramento da precipitação pluvial é uma ferramenta indispensável na mitigação dos eventos de secas, segundo Paula, Brito e Braga (2010). Entre os elementos do clima tropical, a precipitação pluvial é o que mais influencia a produtividade agrícola, principalmente nas regiões semiáridas, haja vista que o regime de chuvas é caracterizado por eventos de curta duração e alta intensidade (SANTANA *et al.*, 2007).

No caso do gerenciamento dos recursos hídricos, a alteração do regime hidrometeorológico pelo evento seca propicia déficit hídrico e, em consequência, gera riscos à segurança alimentar e à produção de energia hidroelétrica (EAKIN; LEMOS; NELSON, 2014).

¹Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB), Brasil.

*Autora correspondente: valnelismello@hotmail.com

Conflitos de interesse: os autores declaram não haver conflito de interesses.

Financiamento: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Recebido: 27/04/2018 - Aceito: 10/07/2019 - Reg. ABES: 193499

As incertezas na análise de frequência pontual de seca ainda são problemáticas porque secas extremas são raras por definição, consequentemente suas amostras, muitas vezes, são pequenas para estimativas confiáveis de valores extremos. Este estudo estabelece uma forma de superar as limitações da análise de frequência pontual de seca, aumentando o tamanho amostral dos dados na área de estudo.

Uma forma importante de aumentar o tamanho das amostras é agrupar postos pluviométricos que têm propriedades semelhantes de seca. Essa abordagem melhora a precisão da análise por meio do exame de frequência regional, pois reduz os erros de amostragem das propriedades de seca. Segundo Melo *et al.* (2016), trata-se de um evento climático que ainda precisa ser mais bem estudado.

METODOLOGIA

Caracterização da área de estudo

A região do SAB é delimitada por uma área de 895.254,4 km². É denominada de Polígono das Secas (PS) e contabiliza 1.042 municípios, distribuídos nos estados de Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais. O PS representa 57,53% da área da Região Nordeste. A população do semiárido é de 19.326.007 habitantes (40,54% da população do NE), dos quais 56,52% residem em áreas urbanas e 43,48% em áreas rurais. A Figura 1 exibe a distribuição espacial dos postos pluviométricos no PS.

Dados de precipitação pluvial

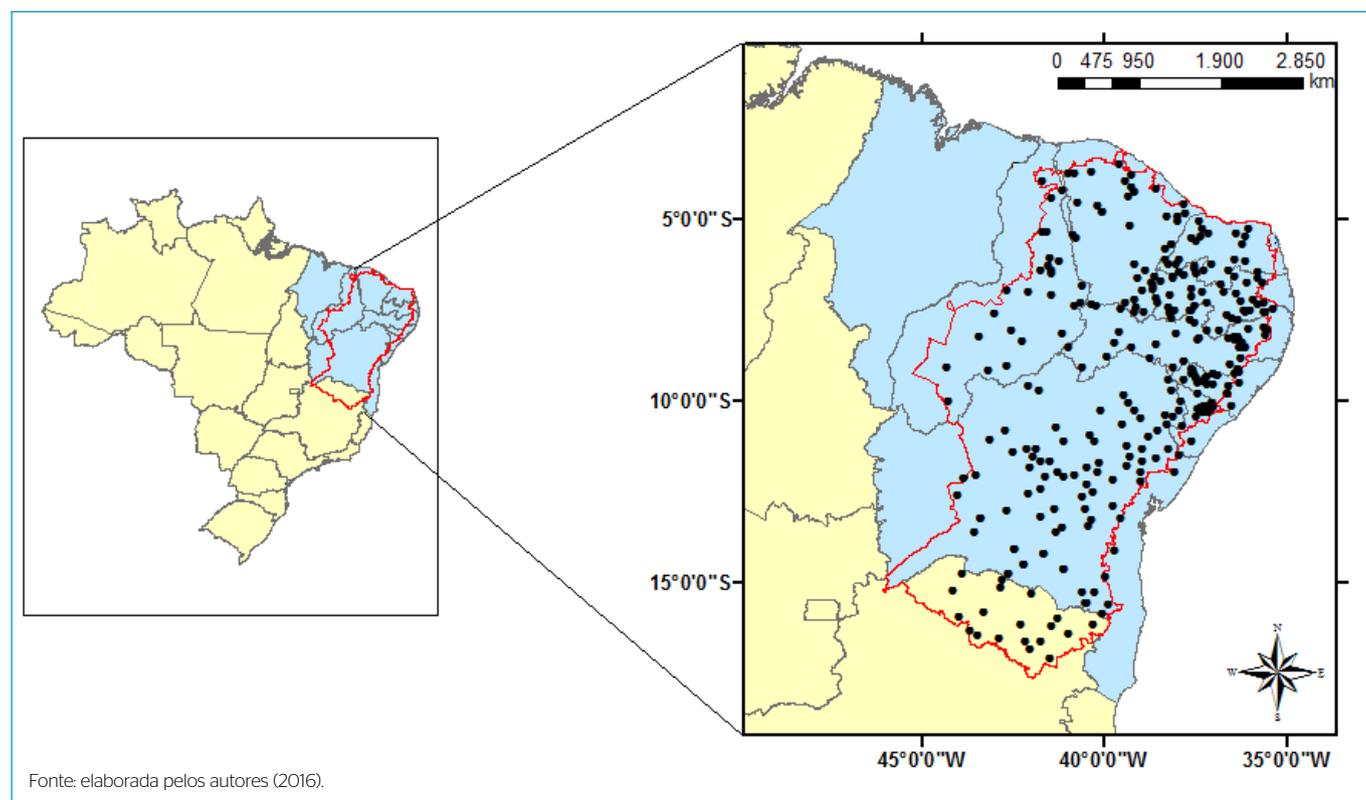
No estudo de seca é necessário, antes de tudo, verificar o comportamento climático da precipitação pluvial da região sob análise, principalmente para

detectar e explicar o motivo das ocorrências de seca. Para tanto, foram utilizados os totais mensais precipitados coletados em 320 postos pluviométricos localizados no PS, para o período de 1984 a 2014, gentilmente cedidos pela Agência Nacional de Águas (ANA). Esses dados foram consistidos e homogeneizados. Em seguida, utilizou-se a técnica de análise de agrupamento hierárquico para a obtenção das sub-regiões pluviometricamente homogêneas. Para exibir essas sub-regiões, construíram-se mapas com o software de geoprocessamento QGIS.

Definição dos parâmetros de seca e método RUN

O índice de seca avalia o efeito e define diversos parâmetros desse fenômeno, como duração, intensidade e severidade. A Figura 2 exibe os detalhes desses parâmetros. A duração é o período entre o início e o fim de uma seca (tempo em que sucessivas chuvas são menores do que a média climatológica), podendo ser expressa em semanas, meses ou anos. A severidade é a soma do déficit para a duração. A intensidade é dada pela razão entre a severidade e a duração. Esses índices são capazes de identificar uma seca em diferentes escalas de tempo.

O método RUN foi utilizado para se obterem os parâmetros de seca: severidade, duração e intensidade. Inicialmente foram selecionados postos pluviométricos na área de estudo com ao menos 40 anos de observações. Com base nos totais mensais precipitados, foram calculadas as anomalias de precipitação mensal. O somatório das anomalias negativas consecutivas (déficit de precipitação) representa o parâmetro severidade de seca. O parâmetro duração de seca é caracterizado pelo período entre o início e o fim das anomalias negativas consecutivas de uma seca, e o parâmetro intensidade de seca foi calculado pela razão entre a severidade e a duração de seca.



Fonte: elaborada pelos autores (2016).

Figura 1 - Distribuição espacial dos postos pluviométricos no polígono das secas.

Delimitações das sub-regiões por análise de agrupamento

A análise de agrupamento (ou *cluster analysis*) é uma técnica exploratória de análise multivariada de dados que permite classificar os indivíduos de uma amostra em grupos homogêneos, de tal forma que apresentem similaridades entre si, considerando-se os valores das variáveis utilizadas na métrica de similaridade/dissimilaridade.

Segundo Mingoti (2013), existem várias medidas de similaridade/dissimilaridade e cada uma produz um determinado tipo de agrupamento. Na análise deste estudo, foi aplicada a distância euclidiana como medida de similaridade/dissimilaridade, haja vista que tem sido bastante usada para delimitar regiões homogêneas em diferentes partes do mundo (GÜLDAL; TONGAL, 2008; NAJAC; BOÉ; TERRAY, 2009; RATTO; MARONNA; BERRI, 2010). A distância euclidiana entre dois elementos X_l e X_k , $l \neq k$ é definida pela Equação 1.

$$d(X_l, X_k) = [(X_l - X_k)'(X_l - X_k)]^{1/2} = [\sum_{i=1}^p (X_{li} - X_{ki})^2]^{1/2} \quad (1)$$

Em que:

$d(X_l, X_k)$ = a distância euclidiana que estima a similaridade/dissimilaridade;

X_l = o vetor do l -ésimo elemento;

X_k = o vetor do k -ésimo elemento.

Neste estudo, foram utilizadas as estimativas das distâncias euclidianas e a técnica hierárquica aglomerativa para agrupar indivíduos. Essa técnica nada mais é do que um algoritmo que dá início ao processo de agrupamento considerando, *a priori*, que cada indivíduo constitui um grupo isolado. Dando sequência nos passos seguintes do algoritmo, os indivíduos da amostra vão formando grupos por aglomeração. O resultado final desse processo é resumido em um gráfico denominado de dendrograma ou diagrama de árvore. No seu eixo vertical são dispostas as estimativas das similaridades/dissimilaridades e, no horizontal, os indivíduos agrupados.

Funções distribuição de probabilidades

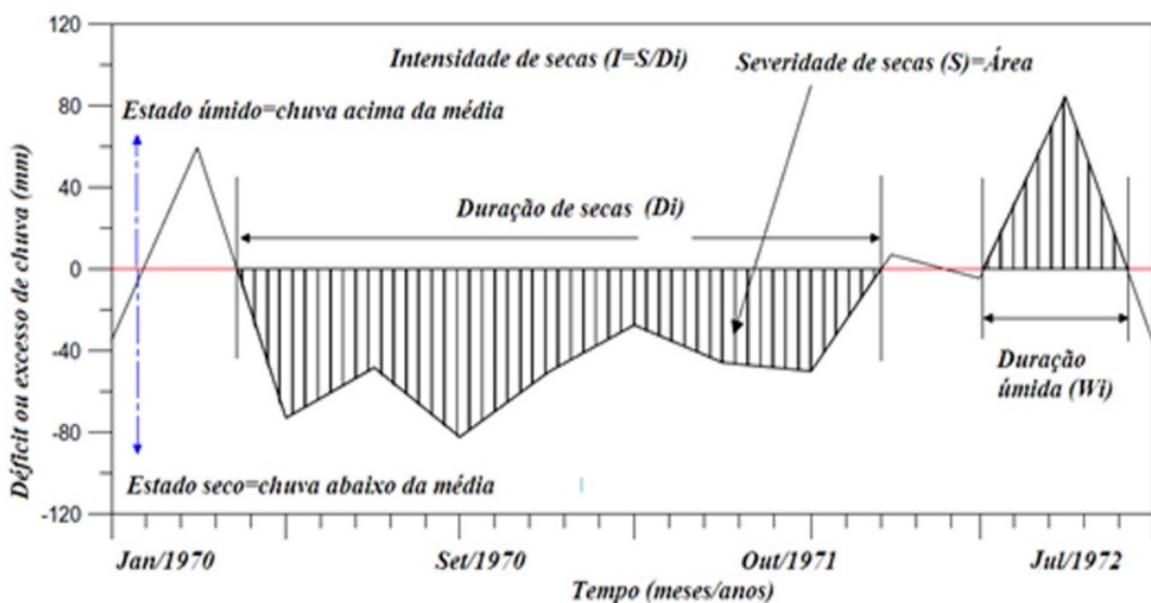
Com as estimativas dos parâmetros de duração (meses) e severidade (mm) de seca obtidos pelo método RUN, e regionalizados pela análise de agrupamento, foram construídas amostras de duração e severidade de seca. Em seguida, essas amostras foram submetidas a ajustes das seguintes funções distribuição de probabilidades: qui-quadrado, Erlangen, exponencial, gama biparamétrica (2), valor extremo generalizado (*generalized extreme value* — GEV), Gumbel, log-normal, logística, normal, Weibull biparamétrica (2), Weibull triparamétrica (3). As estimativas dos parâmetros de cada uma das funções distribuição de probabilidades foram efetuadas pelo método de máxima verossimilhança.

Kolmogorov-Smirnov (KS) foi o teste de aderência utilizado para verificar a adequabilidade das amostras às funções distribuição de probabilidades supracitadas. Todo o cálculo computacional foi efetuado pelos *softwares* Statística e Excel 2010.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados dos totais mensais precipitados de 320 postos pluviométricos localizados no PS no período de 1984 a 2014, foram obtidas as estatísticas descritivas da climatologia da precipitação pluvial do SAB. Essas estatísticas são exibidas na Tabela 1. Nela pode ser visto que o período chuvoso do PS ocorre predominantemente no verão, como está exposto na coluna 6 da Tabela 1 — as maiores médias de chuvas ocorrem entre os meses dezembro e maio. Já o quadrimestre mais chuvoso ocorre entre os meses de janeiro e abril, resultado basicamente semelhante aos encontrados por Moura *et al.* (2009) e Amorim, Silva e Chaves (2014).

Os valores das duas primeiras colunas da Tabela 1 deixam clara a má distribuição temporal da precipitação pluvial no os. A diferença entre a chuva máxima e a mínima pode ser de até 20 vezes nos meses de janeiro a março. Essa má



Fonte: adaptado de Dracup, Lee e Paulson Jr. (1980).

Figura 2 - Parâmetros utilizados para analisar a seca.

distribuição pode ser enxergada, também, nos valores dos coeficientes de variação (CV), na coluna 8. Esses valores deveriam oscilar em torno de 20% para que as chuvas fossem consideradas bem distribuídas no tempo. Nota-se ainda que os valores mais aceitáveis dos CV ocorrem no período chuvoso. A média, exposta na coluna 6, não é uma boa estimativa do valor central das chuvas nos meses secos (junho a novembro), haja vista que apresenta discrepâncias quando comparada à estimativa da mediana, mostrada na coluna 4.

Em geral, as estatísticas da Tabela 1 quantificam a chuva na região estudada. Estudos realizados por Kouadio *et al.* (2012) e Gomes *et al.* (2015) mostraram que as anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico Tropical, particularmente no Atlântico Tropical Sul, têm relação significativa com as chuvas no Nordeste do Brasil, principalmente na região do SAB, segundo Andreoli *et al.* (2004), e no leste da região, segundo Moura *et al.* (2009) e Amorim, Silva e Chaves (2014). Esses autores qualificam a ocorrência da chuva no PS.

Delimitação de sub-regiões pluviometricamente homogêneas

Após quantificar e qualificar os eventos mais importantes relativos ao comportamento da precipitação pluvial no PS, a área foi delimitada em três sub-regiões pluviometricamente homogêneas pela análise de agrupamento. A Figura 3 exibe essa delimitação. Técnicas semelhantes à análise de agrupamento têm sido utilizadas por Grimm e Tedeschi (2009), Nogueira *et al.* (2014), Oliveira *et al.* (2014), Cera e Ferraz (2015), Nascimento *et al.* (2015), Araújo, Maia e Neves (2015), Pansera *et al.* (2015), Prado *et al.* (2016) e Santos, Sansigolo e Santos (2016) para delimitar e estudar regiões homogêneas.

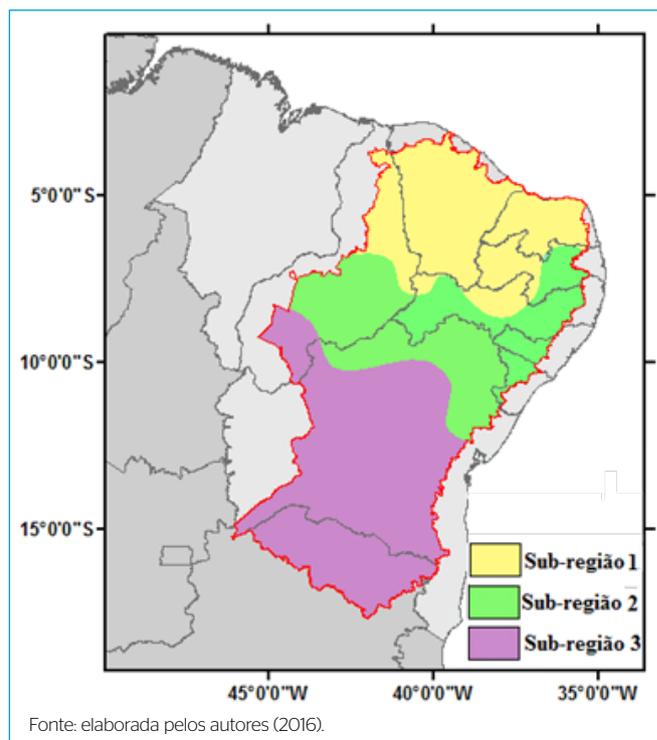
A sub-região 1 contém 82 postos pluviométricos, ou 26% dos postos da área de estudo. A precipitação pluvial média mensal é igual a 76,2 mm, a máxima é de 230 mm e a mínima de 2,9 mm.

Fevereiro, março e abril constituem o trimestre mais chuvoso. Nessa sub-região, as chuvas nos meses mais chuvosos variam de 150 a 230 mm. Os meses mais secos são agosto e setembro. O sistema meteorológico que atua predominantemente é a zona de convergência intertropical (ZCIT). Quando essa banda de nebulosidade não se forma, a seca ocorre.

A sub-região 2 contém 154 postos pluviométricos, ou cerca 48% dos postos da área de estudo. A precipitação pluvial média mensal é igual a 54,9 mm, a máxima é de 95,3 mm e a mínima de 20,3 mm. O trimestre mais chuvoso

está entre os meses de março e maio, com chuvas que variam entre 90 e 95 mm. Destaca-se nessa sub-região a melhor distribuição temporal da precipitação pluvial. Em anos normais, os sistemas meteorológicos atuantes são frentes frias e ondas de leste.

A sub-região 3 contém 84 postos pluviométricos, ou 26% dos postos da região SAB. O trimestre mais chuvoso está compreendido entre os meses de novembro a janeiro. As chuvas variam entre 100 e 137 mm, com média mensal de 56,6 mm. A precipitação máxima é igual a 137,4 mm e a mínima é igual a 3 mm. Em anos normais os sistemas precipitantes são frentes frias e vórtices ciclônicos da alta troposfera (VCAS). Os meses mais secos estão entre maio e setembro. Note-se que o Nordeste setentrional, sub-região 1, é a porção do SAB em que mais chove.



Fonte: elaborada pelos autores (2016).

Figura 3 - Delimitação do semiárido brasileiro em três sub-regiões.

Tabela 1 - Estatística descritiva da climatologia da precipitação pluvial do semiárido brasileiro no período de 1984 a 2014.

Meses	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	DP	CV (%)
Janeiro	17,1	408,2	86,3	90,2	46,6	51,7
Fevereiro	20,0	428,2	84,2	92,1	48,5	52,6
Março	25,1	456,6	113,2	127,9	68,0	53,2
Abril	17,9	425,3	90,4	107,2	66,4	62,0
Maio	1,9	257,3	63,6	67,9	45,3	66,7
Junho	0	211,5	38,1	47,3	45,7	96,7
Julho	0	210,5	21,7	39,2	44,5	113,7
Agosto	0	125,5	10,5	23,9	28,4	119,0
Setembro	0	86,9	9,8	15,9	17,2	108,1
Outubro	0	198,3	19,5	26	23,2	89,2
Novembro	0,4	244,7	25,0	49,6	52,9	106,7
Dezembro	1,6	291,3	44,2	63,5	53,4	84,0

DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação. Todas as unidades são medidas em mm. Fonte: elaborada pelos autores (2016).

Variabilidade espacial da severidade de seca

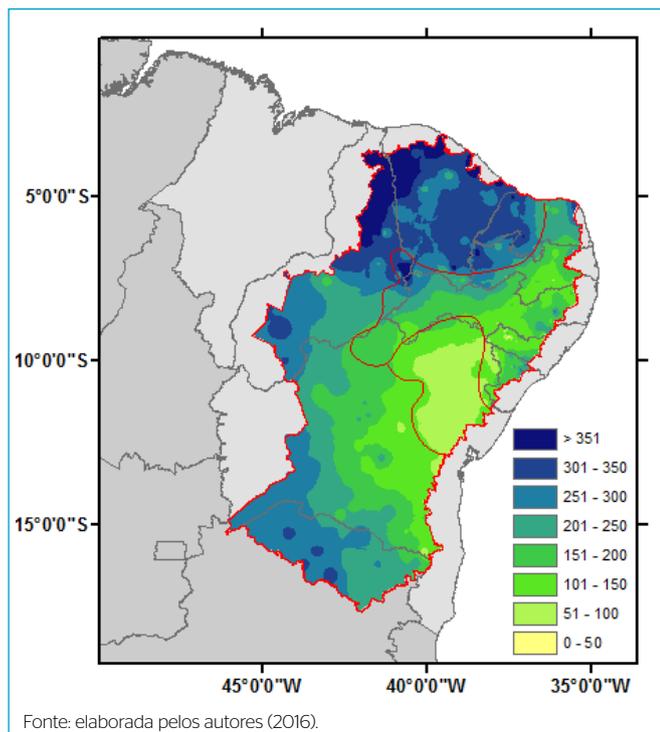
Após se caracterizar o comportamento médio da precipitação pluvial do SAB, entendendo, quantificando e qualificando o evento chuva, o passo seguinte foi estudar os meses considerados secos e as secas no período chuvoso. Dito de outra forma, estudou-se a falta de chuvas no período chuvoso, ou a falta do evento chuva, quando ele era esperado. Com base nas informações dos índices de severidade e duração de seca foi possível espacializar a seca no SAB.

A Figura 4 exibe a variabilidade espacial da severidade de seca (mm) no SAB. Pode-se notar que os estados do Piauí e Ceará e as regiões oeste da Paraíba, oeste do Rio Grande do Norte, oeste e sul da Bahia e norte de Minas Gerais foram as áreas mais afetadas pelas secas no período estudado. Esse fato foi evidenciado na análise descritiva dos dados históricos. Nota-se, também na Figura 4 que todas as regiões próximas ao litoral apresentaram secas menos severas, com exceção da parte setentrional da região do SAB. Esse resultado pode ser explicado pelo efeito de continentalidade na severidade de seca.

Variabilidade espacial da duração de seca

A Figura 5 exibe a variabilidade da duração de seca (meses) no SAB. Pode-se notar que grande parte do estado do Ceará, bem como as regiões norte da Paraíba, centro-oeste do Rio Grande do Norte e oeste de Pernambuco foram as áreas mais afetadas quanto à duração de seca. Tal como já detectado pela severidade de seca, a duração também registra o efeito da continentalidade, ou seja, aumenta à medida que se adentra o continente, com exceção do leste do Rio Grande do Norte e algumas áreas isoladas.

Vale destacar que fenômenos climáticos como o El Niño podem estar associados aos períodos secos no período chuvoso na região do SAB. É bom lembrar que a ocorrência isolada do referido fenômeno não produz secas no SAB.



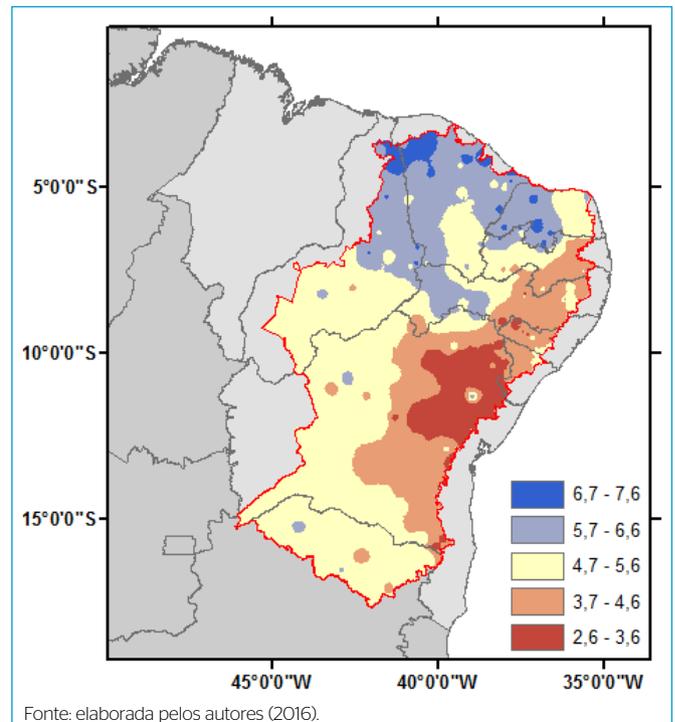
Fonte: elaborada pelos autores (2016).

Figura 4 - Variabilidade espacial da severidade de seca no semiárido brasileiro.

Ajuste de funções distribuição de probabilidades à severidade de seca

Com base na análise de agrupamento e nos índices de severidade de seca foram obtidas três sub-regiões. Em seguida, utilizou-se o processo de regionalização dos dados de severidade de cada um dos postos das sub-regiões para ajustá-los a funções distribuição de probabilidades. A Tabela 2 destaca os valores p (em negrito) como critério para o aceite da melhor função distribuição de probabilidades para modelar a severidade de seca em cada uma das três sub-regiões. Aqui, o método para as estimativas dos parâmetros das funções foi o da máxima verossimilhança.

A Figura 6 exibe o ajuste dos dados da severidade de seca (função empírica) à função distribuição de probabilidades (função teórica) para a sub-região 1. Aqui,



Fonte: elaborada pelos autores (2016).

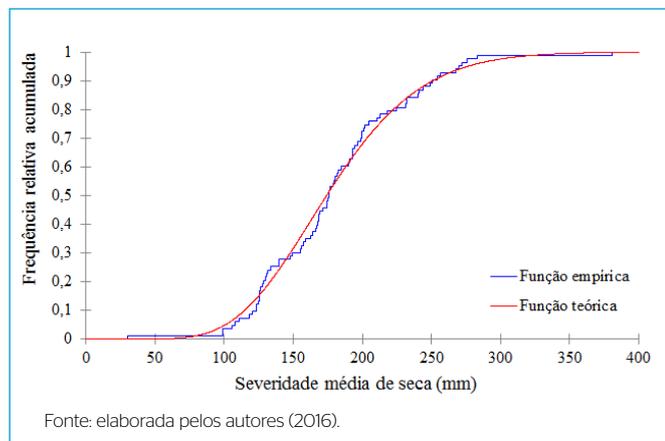
Figura 5 - Variabilidade espacial da duração de seca em meses no semiárido brasileiro.

Tabela 2 - Valores p dos ajustes da severidade de secas às funções distribuição de probabilidades.

Distribuições	Sub-região 1	Sub-região 2	Sub-região 3
Qui-quadrado	< 0,0001	0,5471	< 0,0001
Erlangen	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Exponencial	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Gama (2)	0,8616	0,9117	0,0896
GEV	0,7919	0,9735	0,2755
Gumbel	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Log-normal	0,4485	0,4817	0,1442
Logística	0,8567	0,9484	0,4825
Normal	0,5306	0,9514	0,0146
Weibull (2)	0,4095	0,9712	0,0141
Weibull (3)	0,1993	0,9512	0,0541

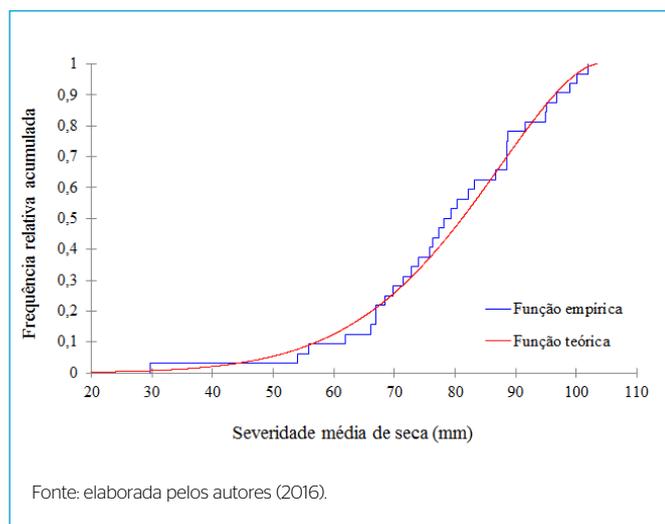
GEV: valor extremo generalizado.

Fonte: elaborada pelos autores (2016).



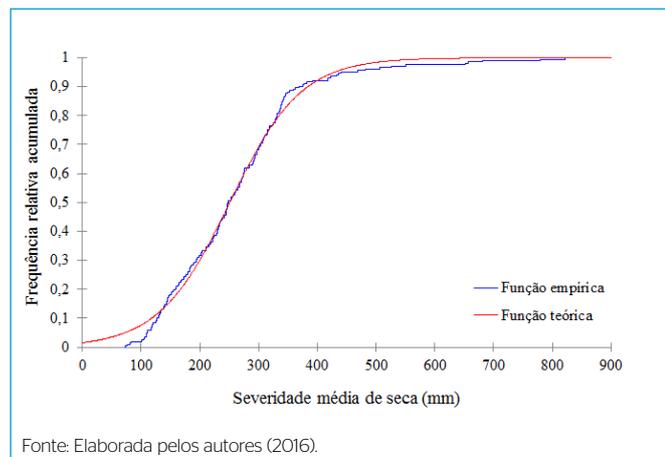
Fonte: elaborada pelos autores (2016).

Figura 6 - Ajuste das distribuições de probabilidades empírica e teórica gama (2) para a sub-região 1.



Fonte: elaborada pelos autores (2016).

Figura 7 - Ajuste das distribuições de probabilidades empírica e teórica de valor extremo generalizado para a sub-região 2.



Fonte: Elaborada pelos autores (2016).

Figura 8 - Ajuste das distribuições de probabilidades empírica e teórica logística para a sub-região 3.

a distribuição de probabilidade gama com dois parâmetros (gama (2)) foi a que apresentou o melhor ajuste. A Tabela 2 destaca em negrito o valor p de 0,8616 para gama (2) na sub-região 1. Adicionalmente, foi aplicado o teste de KS para averiguar a adequação desse ajuste. O resultado do KS ratificou o resultado do valor p.

Na sub-região 2 a função distribuição de probabilidades que melhor se ajustou aos dados de severidade de seca foi a GEV. O valor p de 0,9735 associado à função GEV para a sub-região 2 pode ser visto na Tabela 2. Como no primeiro caso, o teste de KS também foi utilizado para averiguar a adequação do ajuste. O resultado indicou também boa adequação da função teórica aos dados observados. A Figura 7 exhibe a adequabilidade desse ajuste.

Na sub-região 3 a função distribuição de probabilidades que melhor representa os dados da severidade de secas é a logística. O valor p de 0,4825 associado à função logística para a sub-região 3 pode ser visto na Tabela 2. Também aqui o teste de KS foi empregado para testar a aderência da função empírica à função teórica. Essa aderência é exibida na Figura 8.

Ajuste de funções distribuição de probabilidades à duração de seca

Com base na análise de agrupamento e nos índices de duração de seca foram obtidas três sub-regiões. Em seguida, utilizou-se o processo de regionalização dos dados de severidade de seca de cada um dos postos das sub-regiões para ajustá-los a funções distribuição de probabilidades. A Tabela 3 destaca os valores p (em negrito) como critério para o aceite da melhor função distribuição de probabilidades para modelar a duração de seca em cada uma das três sub-regiões. Aqui o método para as estimativas dos parâmetros das funções foi o da máxima verossimilhança.

A Figura 9 exhibe o ajuste dos dados de duração de seca (função empírica) à função distribuição de probabilidades GEV (função teórica) para a sub-região 1. Na Tabela 3 pode ser visto que o valor p de 0,6847 está associado à função GEV para a sub-região 1. O teste de KS confirmou a adequação desse ajuste.

Na sub-região 2 a função distribuição de probabilidades que apresentou melhor ajuste aos dados de duração de seca foi a Weibull (função teórica) com três parâmetros. A Tabela 3 exhibe o valor p igual a 0,9921 para a sub-região 2. Aqui também, o teste de KS confirmou esse ajuste. A Figura 10 exhibe esse ajuste das distribuições de probabilidades empírica e teórica.

Tabela 3 - Valores p dos ajustes da duração de seca às funções distribuição de probabilidades.

Distribuições	Sub-região 1	Sub-região 1	Sub-região 3
Qui-quadrado	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Erlangen	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Exponencial	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Gama (2)	0,4769	0,4090	0,7151
GEV	0,6847	< 0,0001	0,6497
Gumbel	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Log-normal	0,5807	0,7049	0,3841
Logística	0,4801	0,5221	0,4404
Normal	0,2222	0,2686	0,4473
Weibull (2)	0,2115	0,1163	0,1168
Weibull (3)	0,4701	0,9921	0,3739

GEV: valor extremo generalizado.
 Fonte: elaborada pelos autores (2016).

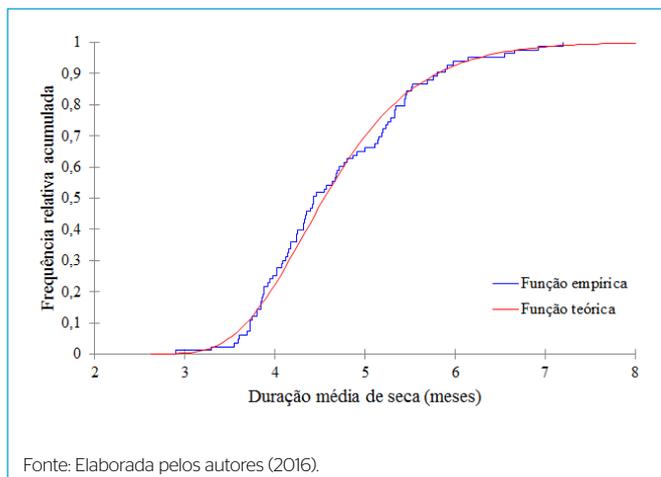


Figura 9 – Ajuste das distribuições de probabilidades empírica e teórica de valor extremo generalizado para a sub-região 1.

Na sub-região 3 a função distribuição de probabilidades gama com dois parâmetros foi a que apresentou o melhor ajuste entre as demais para modelar a duração de seca. A Tabela 3 exibe o valor p de 0,7151 para a sub-região 3. Também aqui o teste de KS foi utilizado para confirmar a veracidade da aderência da função teórica gama (2) à distribuição empírica dos dados amostrais. Essa aderência pode ser vista na Figura 11.

CONCLUSÕES

Neste estudo, a regionalização das chuvas pela análise de agrupamento foi necessária para quantificar e qualificar os mecanismos precipitantes. Por exclusão, a ocorrência de secas, no período chuvoso, indica a inação desses mecanismos na região do SAB. Os dois sistemas precipitantes mais importantes, principalmente para o Nordeste setentrional, são a ZCIT e os distúrbios ondulatórios de leste (DOL).

As variabilidades espaciais da severidade e duração de seca estão relacionadas à inação dos sistemas precipitantes na região do SAB. Além disso, deixam claro que as localidades mais próximas do litoral são influenciadas pela ação da continentalidade, o que as beneficia. A distribuição espacial de severidade de seca não se assemelha muito à distribuição de duração de seca. Isso significa que podem ocorrer secas muito severas de curta duração ou secas menos severas de longa duração.

De modo geral, os ajustes das funções distribuição de probabilidades foram satisfatórios. O que falta nessa modelagem é uma ligação condicional dos eventos severidade e duração de seca. Um dos autores deste trabalho está construindo essa possibilidade pelo uso da função cópula.

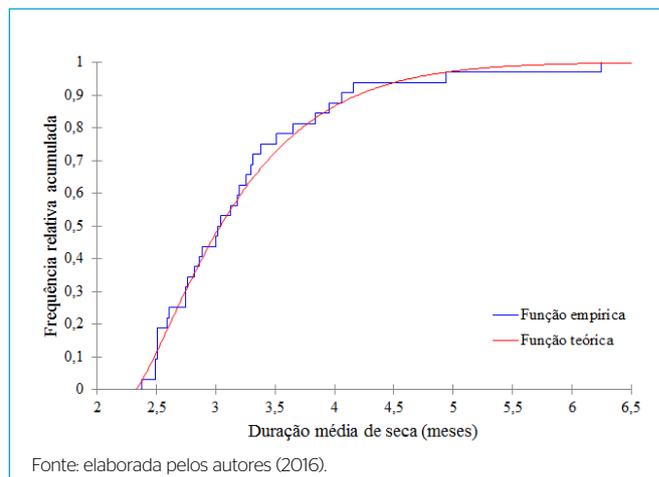


Figura 10 – Ajuste das distribuições de probabilidades empírica e teórica Weibull (3) para a sub-região 2.

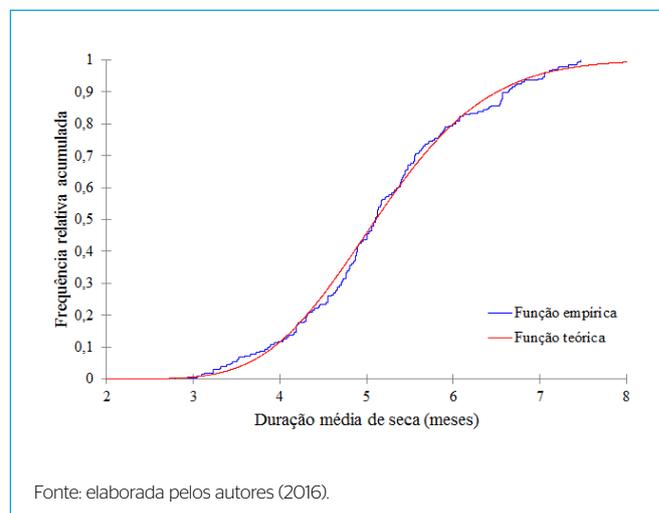


Figura 11 – Ajuste das distribuições de probabilidades empírica e teórica gama (2) para a sub-região 3.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Melo, V.S.: Conceituação, Investigação, Curadoria de Dados, *Software*, Escrita — Primeira Redação. Sousa, F.A.S.: Obtenção de Financiamento, Supervisão, Validação, Análise Formal, Escrita — Revisão e Edição, Administração do Projeto.

REFERÊNCIAS

AMORIM, A.C.B.; SILVA, C.M.S.; CHAVES, R.R. Temperatura da superfície do mar do Atlântico Tropical e a precipitação do leste do Nordeste do Brasil. *In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE*, 12., 2014, Natal. *Anais* [...]. Natal: ABRH, 2014.

ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.; GUEDE, R.L.; OYAMA, M.D.; ALVES, M.A.S. A influência da temperatura da superfície do mar dos oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade da precipitação em Fortaleza. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 113-122, 2004.

- ARAÚJO, J.M.S.; MAIA, A.G.; NEVES, J.A. Uso dos índices PCP e PCD na determinação de regiões com precipitação pluvial homogênea. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 17, p. 119-139, 2015. <https://doi.org/10.5380/abclimav17i0.38903>
- CERA, J.C.; FERRAZ, S.E.T. Variações climáticas na precipitação no sul do Brasil no clima presente e futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 30, n. 1, p. 81-88, 2015. <https://doi.org/10.1590/0102-778620130588>
- DRACUP, J.A.; LEE, K.S.; PAULSON JR., E.G. On the statistical characteristics of drought events. *Water Resources*, v. 16, n. 2, p. 289-296, 1980. <https://doi.org/10.1029/WRO16i002p00289>
- EAKIN, H.; LEMOS, M.C.; NELSON, D.R. Differentiating capacities as a means to sustainable climate change adaptation. *Global Environmental Change*, v. 27, p. 1-8, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.013>
- FREITAS, M.A.S. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semiáridas. *Revista Tecnologia*, Fortaleza, v. 19, n. 1, p. 84-95, 1998. <https://doi.org/10.5020/23180730.1998.1175>
- GOMES, H.B.; AMBRIZZI, T.; HERDIES, D.L.; HODGES, K.; SILVA, B.F.P. Easterly wave disturbances over Northeast Brazil: an observational analysis. *Advances in Meteorology*, v. 2015, 176238, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/176238>
- GRIMM, A.M.; TEDESCHI, R.G. Enso and extreme rainfall events in South America. *Journal of Climate*, v. 22, n. 7, p. 1589-1609, 2009. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2429.1>
- GÜLDAL, V.; TONGAL, H. Cluster analysis in search of wind impacts on evaporation. *Applied Ecology and Environmental Research*, v. 6, n. 4, p. 69-76, 2008.
- KOUADIO, Y.K.; SERVAIN, J.; MACHADO, L.A.T.; LENTINI, C.A.D. Heavy rainfall episodes in the Eastern Northeast Brazil linked to large-scale ocean-atmosphere conditions in the tropical atlantic. *Advances in Meteorology*, v. 2012, 369567, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/369567>
- MALUF, J.R.T.; MATZENAUER, R.; STEINMETZ, S.; MALUF, D.E. *Zoneamento Agroclimático da Macieira no Estado do Rio Grande do Sul*. 2011.
- MARENGO, J.A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. *Climatic Change*, v. 129, p. 103-115, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1>
- MELO, V.S.; MEDEIROS, R.M.; SOUSA, L.F.; SOUSA, E.P.; SOUSA, F.A.S. O clima urbano e seus impactos em Parnaíba - PI. *Revista Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 12, n. 2, p. 181-198, 2016. <https://doi.org/10.30969/acsav12i2.746>
- MINGOTI, S.A. *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*. Belo Horizonte: UFMG, 2013. 297 p.
- MOURA, B.A.G.; ARAGÃO, J.O.R.; MELO, J.S.P.; SILVA, A.P.N.; GIONGO, P.R.; LACERDA, F.F.Z.O. Relação entre a precipitação do leste do Nordeste do Brasil e a temperatura dos oceanos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 4, p. 462-469, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000400014>
- NAJAC, J.; BOÉ, J.; TERRAY, L. A multi-model ensemble approach for assessment of climate change impact on surface winds in France. *Climate Dynamics*, v. 32, n. 5, p. 615-634, 2009. <https://doi.org/10.1007/s00382-008-0440-4>
- NASCIMENTO, F.C.A.; ARAÚJO, F.R.C.D.; BRAGA, C.C.; COSTA, E.V.S. Análise de padrões espaciais e temporais da precipitação no estado do Maranhão - Brasil. *Revista Brasileira de Geografia e Física*, v. 8, n. 2, p. 422-430, 2015. <https://doi.org/10.26848/rbgfv8.2.p422-430>
- NOGUEIRA, V.F.B.; NOGUEIRA, V.S.; CORREIA, M.F.; BRAGA, C.C. Variabilidade espaço-temporal da razão de mistura para estações do Estado do Maranhão através da análise multivariada. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 7, n. 5, p. 978-989, 2014. <https://doi.org/10.26848/rbgfv7.5.p978-989>
- OBASI, G.O.P. WMO's role in the international decade for natural disaster reduction. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 75, n. 1, p. 1655-1662, 1994. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1994\)075<1655:WRITID>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1994)075<1655:WRITID>2.0.CO;2)
- OLIVEIRA, N.F.; SILVA, M.T.; GONÇALVES, A.A.S.; ARAÚJO, R.M.S. Variabilidade espaço temporal da Evaporação Potencial no submédio do rio São Francisco utilizando a análise fatorial em componentes principais. *Ciência e Natura*, v. 36, p. 462-473, 2014. <https://doi.org/10.5902/2179460X12803>
- PANSERA, W.L.; GOMES, B.M.; VILAS BOAS, M.A.; SAMPAIO, S.C.; MELLO, E.L.; QUEIROZ, M.M.F. Regionalization of monthly precipitation values in the state of Paraná (Brazil) by using multivariate clustering algorithms. *Irriga*, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 473-489, 2015. <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v20n3p473>
- PAULA, R.K.; BRITO, J.I.B.; BRAGA, C.C. Utilização da análise de componentes principais para verificação da variabilidade de chuvas em Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16, 2010. *Anais* [L.]. Belém, 2010.
- PRADO, B.Q.M.; FERNANDES, H.R.; ARAÚJO, T.G.; LAIA, G.A.; BIASE, N.G. Avaliação de variáveis climatológicas da cidade de Uberlândia (MG) por meio da análise de componentes principais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 2, p. 407-413, 2016. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016147040>
- RATTO, G.; MARONNA, R.; BERRI, G. Analysis of wind roses using hierarchical cluster and multidimensional scaling analysis at La Plata, Argentina. *Boundary-Layer Meteorology*, v. 137, n. 3, p. 477-492, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10546-010-9539-3>
- SANTANA, M.O.; SEDIYAMA, G.C.; RIBEIRO, A.; SILVA, D.D. Caracterização da estação chuvosa para o estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 15, n. 1, p. 114-120, 2007.
- SANTOS, S.R.Q.; SANSIGOLO, C.A.; SANTOS, A.P.P. Dinâmica temporal em múltiplas escalas de tempo dos eventos secos e chuvosos no sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, n. 5, p. 1292-1300, 2016. <https://doi.org/10.26848/rbgfv9.5.p1292-1300>
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). *Major world crop areas and climatic profiles*. Washington, DC: USDA, 1994.
- VIEIRA, J.P.G.; SOUZA, M.J.H.; TEIXEIRA, J.M.; CARVALHO, F.P. Estudo da precipitação mensal durante a estação chuvosa em Diamantina, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 7, p. 762-767, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000700012>
- WILHITE, D.A.; SVOBODA, M.D.; HAYES, M.J. Understanding the complex impacts of drought: A key to improving drought mitigation and preparedness. *Water Resources Management*, v. 21, n. 5, p. 763-774, 2007. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9076-5>

