



Análise temporal do regime pluviométrico no município de Sousa - PB

Rainfall time series analysis in Sousa city, Paraíba State, Brazil

José Adalberto da Silva Filho^{1*}; Sayonara Costa de Araújo²; Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira³

Resumo: O município de Sousa está localizado no semiárido paraibano, não apresentando um regime climático regular, tanto no tempo como no espaço. A análise de séries de chuvas é uma importante abordagem no manejo dos recursos hídricos, uma vez que tenta reduzir os conflitos oriundos da escassez e como auxílio no desenvolvimento de políticas de convivência com o semiárido. Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento das precipitações ocorridas em Sousa - PB, e contribuir para o planejamento de atividades que são influenciadas pela quantidade de água precipitada, em que os resultados condicionam decisões importantes. Realizou-se o levantamento pluviométrico mensal de duas séries de dados, provenientes da Agência Nacional de Águas e da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. As chuvas intensas foram ajustadas à função distribuição de probabilidade de Gumbel. O teste Kolmogorov-Smirnov foi utilizado para verificar a qualidade desses ajustes. Os resultados indicam que os quatro primeiros meses do ano são os mais chuvosos e que a distribuição adotada é realmente adequada para determinar o período de retorno de eventos extremos.

Palavras-chaves: Distribuição de Gumbel; chuvas intensas; semiárido; estatística pluviométrica.

Abstract: *Sousa City*, which is located in a semiarid portion of *Paraíba State*, Brazil, is characterized by an uneven climate behavior, both in time and space. The rainfall series analysis is an important water resources management approach, which may be useful to reduce conflicts from water scarcity and as an aid for developing policies in semiarid regions. This work aims at analyzing the behavior of rainfalls occurred in *Sousa city, Paraíba State*, Brazil, and contributing to the planning of activities that are influenced by the amount of rainfall, in which the results condition important decisions. The rainfall data were obtained from the National Water Resources Agency and the Executive Water Management Agency of *Paraíba State*, Brazil. The intense precipitations were adjusted to the probability distribution function of Gumbel. The Kolmogorov-Smirnov test was used to verify the quality of the settings. The results indicate that in the first four months of the year occur the highest rainfalls and the distribution adopted is really suitable to determine the return period of extreme events.

Key words: Gumbel distribution; heavy rainfall; semiarid; rainfall statistics.

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 11/01/2016; aprovado em 15/02/2016

¹Graduando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB; E-mail: adalbertosilva15@gmail.com

²Graduanda em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande; E-mail: sayonara-vr@hotmail.com

³Professora do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande; E-mail: vbnogueira@ccta.ufcg.edu.br



INTRODUÇÃO

A irregularidade e os baixos índices pluviométricos são duas características intrínsecas do semiárido paraibano, o que têm despertado na comunidade científica um grande interesse na temática. Estudos envolvendo o comportamento da precipitação nessa região, bem como sua variabilidade temporal e espacial, vêm sendo objeto de estudo de diversos pesquisadores (SOUSA et al., 2006; COSTA, BECKER E BRITO, 2013; MONTEIRO et al., 2013).

A compreensão do regime pluviométrico constitui uma importante abordagem no manejo de recursos hídricos, visto que busca reduzir os conflitos oriundos da escassez e como auxílio no desenvolvimento de políticas e programas que visem a captação e o acondicionamento de água das chuvas (SILVA FILHO, FARIAS E ARAÚJO, 2015). Além de servir como base para diversos estudos climatológicos e agrometeorológicos (LOBELL, 2011; COSTA, FERREIRA e CORDEIRO, 2015).

Entender o comportamento pluviométrico é um fator ainda mais abrangente, pois está diretamente conectado ao desenvolvimento social e econômico de uma localidade; por exemplo, longos períodos de estiagem tendem a propiciar prejuízos agrícolas e baixo armazenamento hídrico. Todavia, grandes precipitações que ocorrem em um curto espaço de tempo promovem erosão do solo, inundações em áreas rurais e urbanas, prejuízo na agricultura e em projetos de obras hidráulicas, danos nos sistemas de drenagem, dentre outros (ARAÚJO et al., 2008; BECKER, MELO e COSTA, 2013).

De acordo com Silva e Clarke (2004), as precipitações intensas são entendidas como chuvas extremas, com período de duração, distribuição espacial e temporal críticas para uma determinada área. Um conhecimento da frequência de ocorrência desses fenômenos permite um melhor dimensionamento de obras de engenharia visando minimizar os efeitos negativos dos mesmos.

Dentre os procedimentos existentes para a análise de chuvas intensas, a distribuição de Gumbel se destaca, uma vez, que é considerada uma das mais apropriadas (CRUCIANI, 1983).

Mediante as evidências mencionadas, a relevância do estudo e com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento de pesquisas que tangem a temática de precipitações intensas, o presente trabalho visa analisar o comportamento do regime pluviométrico no município de Sousa, localizado no Estado da Paraíba, além de determinar o período de retorno para eventos críticos utilizando a distribuição de probabilidade de Gumbel.

MATERIAL E MÉTODOS

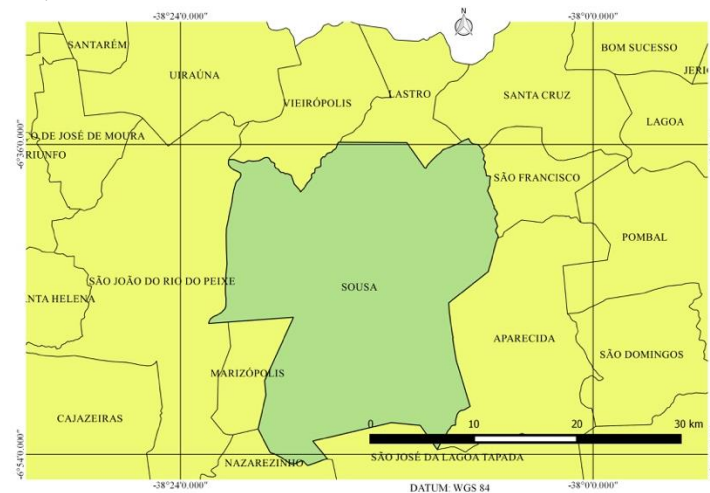
Descrição da área de estudo

O município de Sousa está localizado no extremo oeste do estado da Paraíba, limitando-se a sul com Nazarezinho e São José da Lagoa Tapada, a oeste com Marizópolis e São João do Rio do Peixe, a norte com Vieirópolis, Lastro, Santa Cruz e a leste com São Francisco e Aparecida. Está inserido na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino, caracterizada por uma superfície de pediplanação bastante monótona, relevo predominantemente suave-ondulado,

cortada por vales estreitos, com vertentes dissecadas (BELTRÃO et al., 2005).

De acordo com o último censo demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010, estimou-se uma população de 65.803 habitantes. O referido município apresenta uma área de 738,547 Km². Por meio da Figura 1 é possível verificar a localização da área em estudo.

Figura 1. Localização geográfica do município de Sousa – PB.



Obtenção de dados

As séries de precipitações pluviométricas necessárias para realização da pesquisa foram obtidas através do banco de dados de duas instituições de monitoramento hidrometeorológicos: a Agência Nacional de Águas (ANA) e a Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba (AESA). Informações sobre os dados podem ser obtidas na Tabela 1.

Tabela 1. Informações sobre os postos pluviométricos adotados.

Dados	Instituição de monitoramento hidrometeorológico	
	ANA	AESA
Latitude do posto pluviométrico	-6,76940°	
Longitude do posto pluviométrico	-38,21940°	
Período	1939 a 1970	1999 a 2015
Amplitude (anos)	32	17
Fonte	ANA (2016)	AESA (2016)

Conforme a Tabela 1, utilizou-se um total de 49 anos de dados pluviométricos. O intervalo de dados correspondente ao período entre 1970 e 1999 não foi utilizado devido a falhas ou ausência de dados.

Procedimentos adotados

A primeira etapa do estudo consiste em analisar o comportamento da precipitação pluviométrica da série adotada, utilizando alguns parâmetros da estatística descritiva, como: média, desvio padrão e coeficiente de variação, conforme as Equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N Xt \tag{1}$$

$$Sx = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N (Xt - \bar{x})^2} \tag{2}$$

$$CV = \frac{Sx}{\bar{x}} \tag{3}$$

em que: \bar{x} = média da série; N = número de anos; Sx = desvio padrão e CV = coeficiente de variação.

A segunda etapa é uma análise da série mensal dos dados provenientes da AESA, com vista a compreender o comportamento da precipitação ao longo dos meses. A análise estatística utilizada foi a mesma descrita anteriormente.

A terceira e última etapa diz respeito a determinação de chuvas intensas para diferentes períodos de retorno, conforme a distribuição de probabilidade de Gumbel. De acordo com Righeto (1998), essa distribuição é a mais usada no Brasil e de fácil aplicação. Ela utiliza a média e o desvio padrão da série para determinação de dois parâmetros: o de locação (α) e o de escala (β), com $\beta > 0$. Sendo sua estimativa dada pelas Equações 4 e 5, respectivamente. Foi considerado como precipitação intensa o maior valor diário registrado na série anual proveniente da ANA.

$$\beta = \frac{Sx\sqrt{6}}{\pi} \tag{4}$$

$$\alpha = \bar{x} - \gamma\beta \tag{5}$$

em que: γ = constante de Euler.

Ainda de acordo com Righeto (1998), a precipitação correspondente a um período de retorno desejado é dada por:

$$\frac{P(1dia;T) - \alpha}{\beta} = -\ln\left(\ln\left(\frac{1}{F(P(dia;T))}\right)\right) \tag{6}$$

em que: $F(P(dia;T)) = 1 - (1/T)$; T= período de retorno e ln= logaritmo neperiano.

Utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a aderência dos dados. Segundo Araújo et al. (2008), ele mede a distância máxima entre os resultados de uma distribuição a ser testada e os valores relacionados à distribuição hipoteticamente verdadeira. A estatística do teste

é dada pelo valor de D, representando a diferença máxima entre as funções acumuladas de probabilidade teórica (F(x)) e empírica (F(n)). O valor de D pode ser obtido através da Equação 7.

$$D = \text{máximo}|F(x) - F(n)| \tag{7}$$

O valor obtido em D é então comparado com os valores tabelados de Kolmogorov-Smirnov, com base no tamanho da amostra da série para um nível de 5% de confiança. Admitiram-se duas hipóteses iniciais, H_0 : a distribuição testada pode ser utilizada para prever o comportamento dos dados observados e H_1 : a distribuição testada não pode prever o comportamento dos dados observados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da Figura 2 e da Tabela 2, é possível avaliar o comportamento das precipitações anuais no decorrer dos 48 anos e a estatística observada, respectivamente.

Figura 2. Precipitações pluviométricas registradas pela ANA e AESA durante os períodos de 1939 – 1970 e 1990 - 2015 no município de Sousa – PB

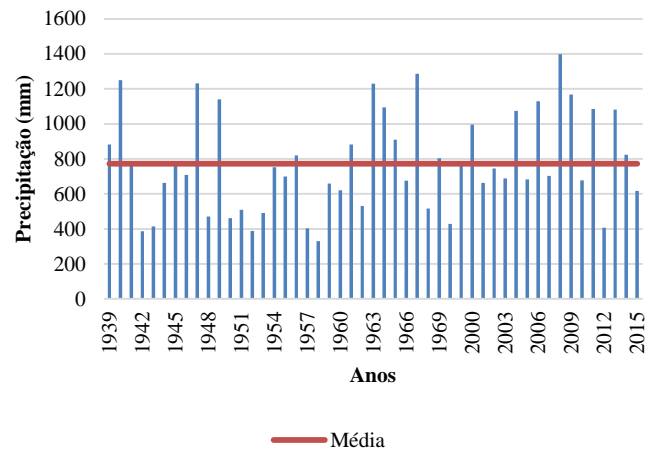


Tabela 2. Principais propriedades estatísticas da série anual de precipitações pluviométricas registradas pela ANA e AESA durante os períodos de 1939 – 1970 e 1990 – 2015 no município de Sousa – PB.

Precipitação anual (mm)				
Média	Máximo	Mínimo	Desvio padrão	Coeficiente de variação
773,4	1399,0	330,0	281,9	0,4

A partir da análise dos dados acima, é possível identificar os anos que apresentam precipitações pluviométricas superiores e inferiores à média referente ao período em estudo, que foi de 773,4 mm.ano⁻¹. A precipitação máxima e a mínima anual observada foi de 1399,0 mm.ano⁻¹ em 2008, e de 330,0 mm.ano⁻¹ em 1958, respectivamente.

O alto desvio padrão observado na pluviometria anual reflete a alta discrepância dos dados em relação à média do período adotado, que é justificado pela irregularidade no regime de chuvas da região. A ausência de precipitações regulares torna os processos de planejamento e gestão dos

recursos hídricos mais difíceis (SILVA FILHO, FARIAS e ARAÚJO, 2015).

Em uma análise mais detalhada das duas séries, é possível notar que houve um aumento de 141,3 mm na precipitação média no período de 1999 a 2015 (865,7 mm.ano⁻¹), quando comparado com a média da série correspondente a 1939 a 1970 (724,4 mm.ano⁻¹). Em termos climatológicos consideramos o primeiro período por ter mais de trinta anos consecutivos.

Uma avaliação desagregada dos dados, conforme visto em trabalhos científicos como Monteiro et al. (2013) e Alencar et al. (2013), permite um melhor entendimento do regime de chuvas ao longo dos meses. A Tabela 3 corresponde aos valores de precipitação mensais obtidos junto à AESA.

Tabela 3. Série mensal de precipitação dos últimos 17 anos registrados em Sousa – PB

Precipitação pluviométrica (mm)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1999	48,9	26,4	246,3	56,1	147,2	8,5	0,0	0,0	0,0	92,6	25,2	122,4
2000	149,2	180,7	226,6	160,3	51,2	71,8	70,9	22,8	10,5	0,0	0,0	52,0
2001	25,0	49,5	353,7	17,7	0,4	34,9	7,4	2,5	0,0	6,0	3,4	161,6
2002	255,0	94,3	208,6	61,3	82,2	35,4	3,3	2,0	0,6	0,0	0,0	3,2
2003	121,5	191,5	169,7	126,4	16,2	2,5	22,0	5,0	0,0	0,0	15,0	17,9
2004	301,1	95,8	209,5	119,1	56,3	164,4	31,6	3,2	0,0	0,0	0,0	94,1
2005	13,7	55,2	368,1	71,1	80,4	30,1	1,0	4,0	0,0	0,0	0,0	59,5
2006	23,0	133,6	337,1	350,2	209,9	14,2	0,0	17,1	0,0	1,0	1,7	41,6
2007	12,1	278,2	85,1	178,5	77,0	45,5	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,2
2008	132,2	162,7	516,6	229,2	282,6	28,2	37,5	3,0	0,0	0,0	0,0	7,0
2009	77,0	121,6	121,2	417,0	195,4	58,0	49,3	46,4	0,0	0,0	0,0	82,3
2010	114,7	77,7	48,9	286,9	0,0	39,0	3,5	0,0	0,0	39,7	0,0	67,5
2011	268,6	258,7	68,9	200,1	95,0	16,8	57,1	0,0	0,0	103,8	11,6	4,5
2012	50,6	138,8	87,2	99,5	3,5	17,7	9,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2013	28,5	78,9	167,4	221,3	76,4	97,6	23,2	0,0	0,0	190,8	19,5	179,0
2014	30,5	206,1	240,9	167,5	30,0	38,0	36,2	0,0	0,0	23,0	41,0	10,5
2015	54,1	117,7	268,2	38,7	18,7	41,0	59,3	4,9	0,0	5,6	0,0	9,8
Média	100,3	133,4	219,1	164,8	83,7	43,7	24,9	6,5	0,7	27,2	6,9	54,5
Máximo	301,1	278,2	516,6	417,0	282,6	164,4	70,9	46,4	10,5	190,8	41,0	179,0
Mínimo	12,1	26,4	48,9	17,7	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Desvio Padrão	94,0	71,8	124,6	111,3	81,4	39,0	23,4	12,1	2,5	53,2	11,9	56,8
Coefficiente de Variação	0,9	0,5	0,6	0,7	1,0	0,9	0,9	1,9	3,9	2,0	1,7	1,0

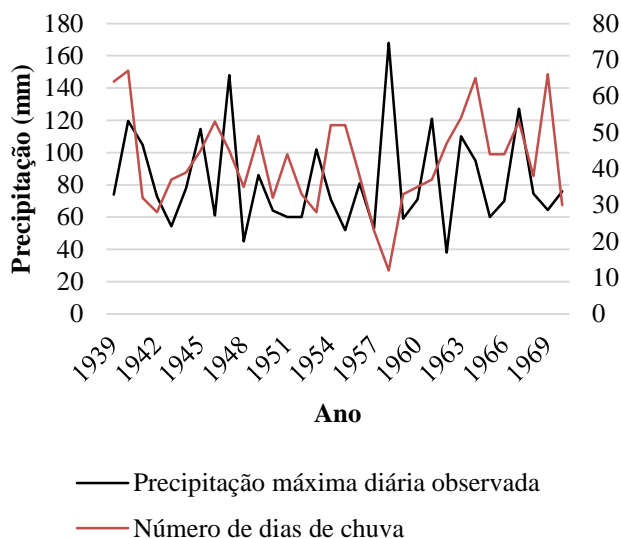
Através da análise da Tabela 3, observa-se que em janeiro, fevereiro, março e abril são normalmente registradas as maiores precipitações. Em contrapartida, setembro foi o mês que apresentou a maior ausência de chuvas durante esses 17 últimos anos. Observa-se também que, de acordo com a média da série adotada no estudo, os quatro primeiros meses do ano são mais chuvosos.

No que diz respeito à precipitação mensal, observa-se um valor máximo registrado em março de 2004, correspondente a 516,6 mm, que superou em mais de duas vezes a média dos últimos 17 anos para o referido mês. Todavia, a mínima mensal (ausência de chuva) foi observada em sete meses na série temporal adotada. Precipitações mensais muito acima do esperado tendem a causar diversos problemas, especialmente em zonas urbanas (SILVA FILHO, FARIAS e ARAÚJO, 2015).

Em relação ao desvio padrão, o maior valor foi observado em março, indicando que esse foi o mês em que as precipitações mensais mais se distanciaram da média durante os 17 anos. Já o menor valor foi observado em setembro.

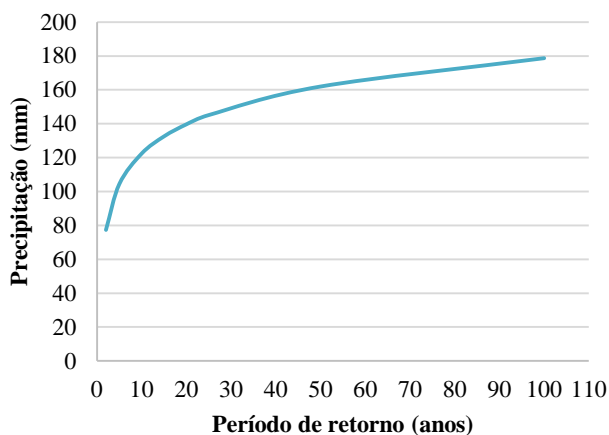
Se tratando de precipitações extremas, é preciso analisar os máximos valores diários alcançados na série e o número de dias em que ocorreu chuva, conforme a Figura 3.

Figura 3. Precipitações diárias máximas por ano e a quantidade de dias chuvosos conforme a série da ANA.



A partir dos dados de chuvas intensas no município de Sousa, ajustou-se à distribuição de probabilidade de Gumbel, como foi proposto por Righeto (1998). Os parâmetros de locação (α) e o de escala (β) obtidos foram, respectivamente, 68,6 e 23,9. Logo, é possível determinar estatisticamente a precipitação máxima de projeto para diferentes períodos de retorno, conforme a Figura 4.

Figura 4. Precipitação de projeto para diferentes períodos de retorno conforme a distribuição de Gumbel.

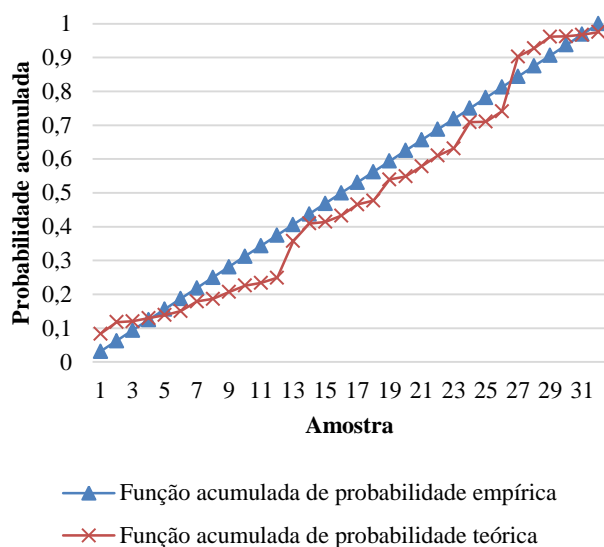


Por meio da Figura 4, é possível identificar a precipitação utilizada em projetos de drenagem e engenharia hidráulica em geral. Para a região em estudo, obras que necessitam de um período retorno de até 5 anos, devem ser dimensionados para suportar um evento pluviométrico diário de até 104,5 mm. Todavia, obras maiores, ou seja, aquelas que necessitam de períodos de retorno maiores, como 50 anos, devem utilizar uma chuva de projeto de 162 mm.

O teste de Kolmogorov-Smirnov foi utilizado para verificar a adequação dos dados à distribuição de probabilidade adotada. Através do seu resultado, acatou-se a hipótese H_0 , ou seja, a distribuição utilizada no estudo se adequa aos 32 dados da série a um nível de significância de 5%. A Figura 5 resume o ajuste das chuvas intensas do

município de Sousa - PB à função de distribuição de probabilidade de Gumbel.

Figura 5. Teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a aderência dos dados de chuvas intensas.



CONCLUSÕES

Espera-se que o trabalho possa contribuir de forma significativa em estudos de regimes pluviométricos, especialmente na região semiárida, com vistas ao melhor gerenciamento de recursos hídricos e evitar conflitos provenientes da escassez de água. Viu-se que em grande parte dos primeiros meses do ano ocorrem precipitações com potencial de serem aproveitadas por meio da utilização de sistemas de captação e armazenamento.

Os resultados obtidos para a estatística hidrológica, através da distribuição de probabilidade de Gumbel, verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a nível de 5% de probabilidade, indicam que a distribuição é realmente adequada para valores extremos de precipitação máxima. Assim, o estudo tem o potencial de auxiliar na etapa de planejamento de obras relacionadas a recursos hídricos para o melhor dimensionamento diante ao período de retorno exigido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Precipitação pluviométrica mensal (mm), Janeiro de 1999 a Dezembro de 2015 para o município de Sousa. Disponível em: < <http://www.aesa.pb.gov.br> >. Acesso em: 10.02.2016.

ALENCAR, A. E. V.; OLIVEIRA, D. G. H.; MONTEIRO, D. R.; FARIAS, S. A. R. Regime de chuvas mensal e anual do município de Barra de Santana nos últimos anos. In: Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro, 1., 2013, Campina Grande. Anais do I Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro. Campina Grande: REALIZE, 2013. v. 1, p. 1 - 5.

ANA - Agência Nacional de Águas – Banco de dados Hidroweb. Precipitação pluviométrica diária (mm), Série

- Histórica: 1939 - 1970 para o posto pluviométrico nº 00638036. Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 10.02.2016.
- ARAÚJO L. E.; SOUSA, F. A. S.; RIBEIRO, M. A. F. M.; SANTOS, A. S.; MEDEIROS, P. C. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 23, n. 2, p. 162-169, 2008.
- BECKER, C. T.; MELO, M. M. M. S.; COSTA, M. N. M. Desempenho temporal de séries pluviométricas no estado da Paraíba: uma análise comparativa. In: *Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro*, 1., 2013, Campina Grande. *Anais do I Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro*. Campina Grande: REALIZE, 2013. v. 1, p. 1 - 5.
- BELTRÃO, B. A.; MORAIS, F.; MASCARENHAS, J. C.; MIRANDA, J. L. F.; JUNIOR, L. C. S.; MENDES, V. A. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Sousa, Paraíba. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Recife, 2005.
- COSTA, M. N. M.; BECKER, C. T.; BRITO, J. I. B. Análise das séries temporais de precipitação do semiárido paraibano em um período de 100 anos – 1911 a 2010. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, n. 4, p. 680-696, 2013.
- COSTA, V. J.; FERREIRA, M.; CORDEIRO, M. T. A. Análise de séries temporais climáticas. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 14, n. 2, p. 169-177, 2015.
- CRUCIANI, D. E. *A drenagem na agricultura*. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1983. 337 p.
- LOBELL DB et al. 2011. Climate trends and global crop production since 1980. *Science* 29: 616-620.
- MONTEIRO, D. R.; OLIVEIRA, D. G. H.; ALENCAR, A. E. V.; FARIAS, S. A. R. Levantamento pluviométrico do município de Patos-PB nos últimos 16 anos. In: *Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro*, 1., 2013, Campina Grande. *Anais do I Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro*. Campina Grande: REALIZE, 2013. v. 1, p. 1 - 5.
- RIGHETTO, ANTONIO MAROZZI. *Hidrologia e Recursos Hídricos*. 1a ed. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 1998, 819 páginas.
- SILVA FILHO, J. A.; FARIAS, C. A. S.; ARAÚJO, S. C. Análise temporal do comportamento da precipitação pluviométrica no município de Pombal - PB. In: *Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro*, 2., 2015, Campina Grande. *Anais do I Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro*. Campina Grande: REALIZE, 2013. v. 1, p. 1 - 6.
- SILVA, B. C.; CLARKE, R. T. Análise estatística de chuvas intensas na bacia do rio São Francisco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 19, n. 3, p. 265-272, 2004.
- SOUSA, W. S.; SOUSA, F. A. S.; ARAÚJO, L. E.; SILVA, D. F. Análise das chuvas de janeiro de 2004 em sub-regiões do estado da Paraíba. In: *Congresso brasileiro de meteorologia*, 14., 2006, Florianópolis. *Anais do XIV Congresso brasileiro de meteorologia*. Florianópolis: SBMET, 2006. v. 1, p. 1 - 6.