

## **PERÍODO DE RETORNO DE EVENTOS INTENSOS DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA EM MACEIÓ, ALAGOAS**

Marcus Vinicius da Silva Leonardo Firmino <sup>1</sup>

Daniele Tôrres Rodrigues <sup>2</sup>

Jório Bezerra Cabral Júnior <sup>3</sup>

### **INTRODUÇÃO**

De acordo com Petsch, Amaral e Sanches (2023), a análise dos padrões espaciais e temporais de eventos climáticos extremos tem recebido maior atenção desde o final da década de 1990, devido ao aumento dos riscos sociais e ambientais em várias regiões do planeta (Sanches; Verdum; Fisch, 2015; Ohba; Sugimoto, 2019; Santos; Galvani, 2021; Olmo; Bettolli; Rusticucci, 2020). Devido à sua localização na região leste do Nordeste do Brasil, o município de Maceió, capital de Alagoas, está vulnerável as consequências dos Eventos Extremos de Precipitação (EEP), porção em que os EEP são mais frequentes e intensos (Rodrigues et al., 2020).

Os eventos chuvosos com grande volume de água causam prejuízo nas cidades, erosão no solo, inundações, danos à agricultura e sérios problemas em reservatórios de armazenamento de água (Sousa et al. 2016). A área de estudo tem mais de 500 áreas de risco, com eventos de movimentos de massa, alguns desses são ocasionados pelas precipitações intensas (Santos, Fragozo Júnior e Souza, 2019). No período chuvoso, este que registra altos volumes de precipitação, há ocorrência de casos de inundações, interdição de moradias com risco de desabamento e deslizamentos (Sousa et al. 2016).

A precipitação, no campo da pesquisa hidrológica, possui um conceito denominado tempo de retorno (TR) (Vieira, Lombardi Neto e Santos, 1994). O TR representa o valor médio de anos, em que é aguardado que uma determinada precipitação seja igualada ou supere uma única vez (Pinto et al., 1976; Cruciani, 1986; Tucci, 2000).

É visto a importância sobre a climatologia e o período de retorno dos EEP para diversas áreas socioambientais, tanto para planejamento rural como urbano. Maceió necessita de mais estudos e pesquisas sobre Eventos Extremos de Precipitação (EEP), assim como a importância

---

<sup>1</sup> Mestrando do Curso de Geografia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, [mvslfirmino@hotmail.com](mailto:mvslfirmino@hotmail.com);

<sup>2</sup> Docente do Curso de Estatística da Universidade Federal do Piauí - UFPI, [mstdany@gmail.com](mailto:mstdany@gmail.com);

<sup>3</sup> Orientador e Doutor do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente – UFAL, [jorio.cabral@igdema.ufal.br](mailto:jorio.cabral@igdema.ufal.br);

de compreender o período de retorno para que esses eventos ocorram, e assim embasar decisões críticas no planejamento urbano. Sendo de suma importância o planejamento voltado para a prevenção e mitigação de problemas causados por chuvas intensas, como enchentes e alagamentos, além de dimensionar adequadamente o sistema de escoamento de águas pluviais e tratar de deslizamentos de terra. Esses fenômenos podem ter grandes impactos econômicos e até resultar em perdas de vidas. Este estudo se preocupa com a ocorrência do período de retorno de EEP, considerando a natureza da série histórica analisada. Através do trabalho objetivou-se quantificar os extremos de precipitação diária; determinar o período de retorno para chuvas máximas; verificar se há tendência significativa na frequência e intensidade de EEP.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

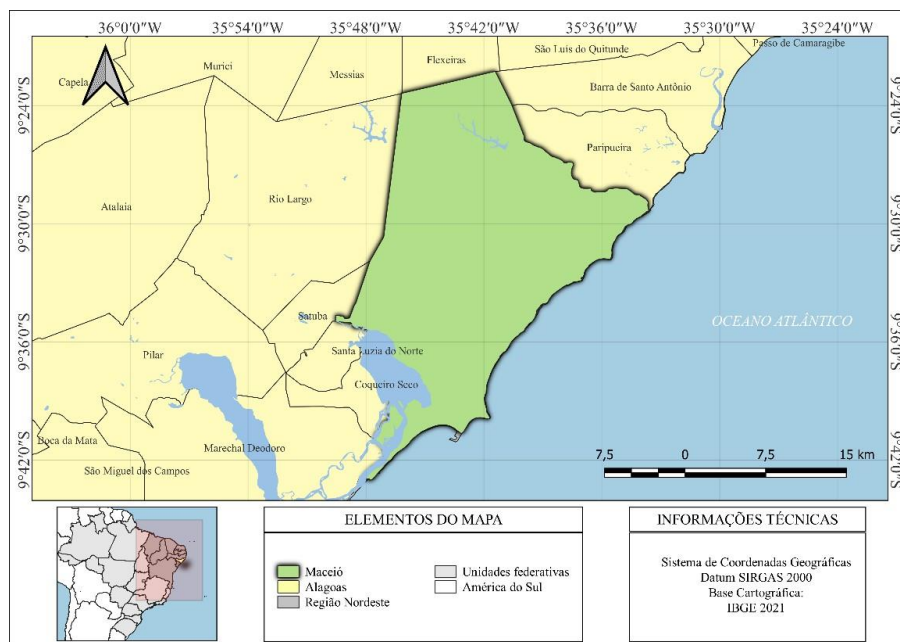
### Área de estudo e dados

De acordo com IBGE (2021), Maceió está situada no Estado de Alagoas, no Nordeste do Brasil. Sobre os limites geográficos, ao Norte está o município Paripueira, na parte Sul a cidade de Marechal Deodoro; Oeste estão situados os municípios Rio Largo e Satuba. A cidade está dentro da mesorregião leste de Alagoas.

A área dessa unidade territorial é de 509,320 km, coordenadas geográficas são latitude: 9°39' S e longitude: 35°43' W (IBGE, 2023), com altimetria varia de 0 a 20 m na porção litorânea, alternando entre 20 e 180 m na parte do topo e encostas dos tabuleiros, atinge 300 m no topo da Serra da Saudinha (Rodrigues; Calheiros; Melo, 2013). O clima é o tropical chuvoso, definido como As', segundo a classificação climática de Köppen (Alvares *et al.*, 2013).

Foram utilizados dados de precipitação diária para Maceió, com uma série de 41 anos (1980 a 2020), sem interrupção. Esses dados foram disponibilizados do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

**Figura 1** - Mapa de localização do município de Maceió, estado de Alagoas.



### Análise de eventos extremos

Foram calculados os valores máximos de precipitação, de forma mensal e anual, e após, comparados com o valor esperado em função de constatar quanto do acumulado de um dia pode representar em relação ao acumulado mensal. Os Eventos Extremos de Precipitação (EEP) diária foram definidos através da técnica de percentis, leva-se em consideração os valores em que o percentil foi igual ou maior que 95%. Os cálculos foram contabilizados apenas os dias que tenham precipitação igual ou superior a 1 mm.

### Análise de tendência

Foi utilizado o teste não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) para definir se existe tendência, mensal e anual, da precipitação em Maceió. A estatística do teste de Mann-Kendall é baseada no valor da variável ZMK. A partir de um teste bilateral, adotar-se-á um nível de confiança estatística de igual ou superior a 95%, ou seja, rejeitar-se-á a hipótese de ausência de tendência se o valor-p for inferior ao nível de significância ( $\alpha=0,05$ ). O teste foi realizado através do software estatístico R.

### Período de retorno

Os Eventos Extremos de Precipitação diária em Maceió, foram ordenados de forma mensal e anual, para cada ano da série, sendo feita uma organização de valores de precipitação máxima diária. Após isso, os dados de precipitação máxima de 24 horas foram ordenados em

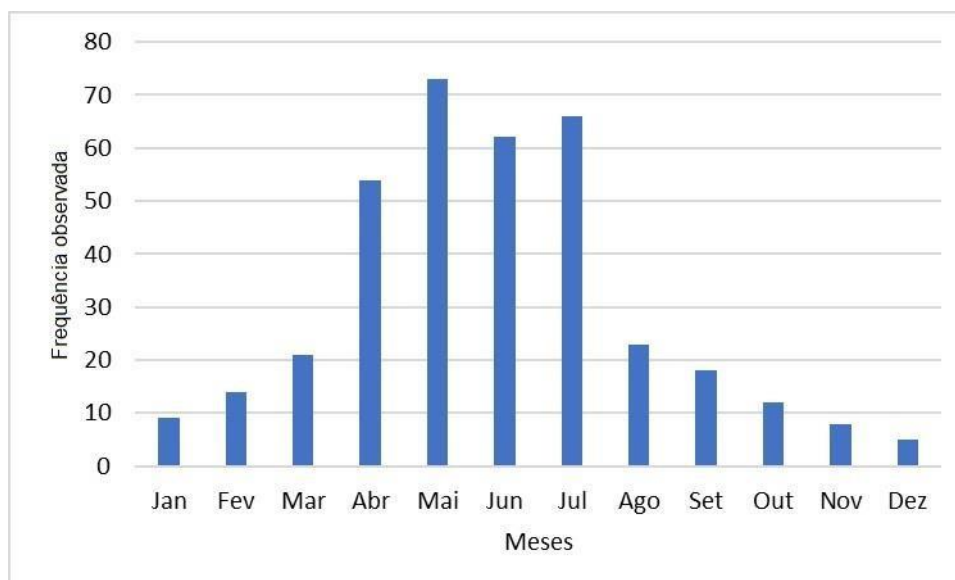
ordem decrescente e adquirido o resultado de probabilidade de ocorrência de precipitação (P), através da equação de Kimball, sendo  $P=m/(N+1)$ , m representa a colocação de cada um dos valores em ordem decrescente através da equação  $TR=1/P$ . E assim, foram definidos o TR para 2, 5, 10, 25 e 30 anos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O P95 para a base de dados de 1980 a 2020 é de 37,2 mm/dia. Na Figura 2, são apresentadas as frequências absolutas em que os valores de precipitação foram iguais ou superiores ao P95. Observa-se que os extremos de precipitação ocorrem com maior frequência durante a estação chuvosa, conforme esperado.

Durante a quadra chuvosa, em ordem decrescente, os extremos de precipitação foram mais frequentes nos meses de maio, julho, junho e abril, com 73, 66, 62 e 54 dias de eventos extremos (igual ou acima do P95), respectivamente. Em contrapartida, os três meses com menor frequência de precipitação extrema foram janeiro, novembro e dezembro, com apenas 9, 8 e 5 dias, respectivamente, com valores iguais ou superiores a 37,2 mm/dia.

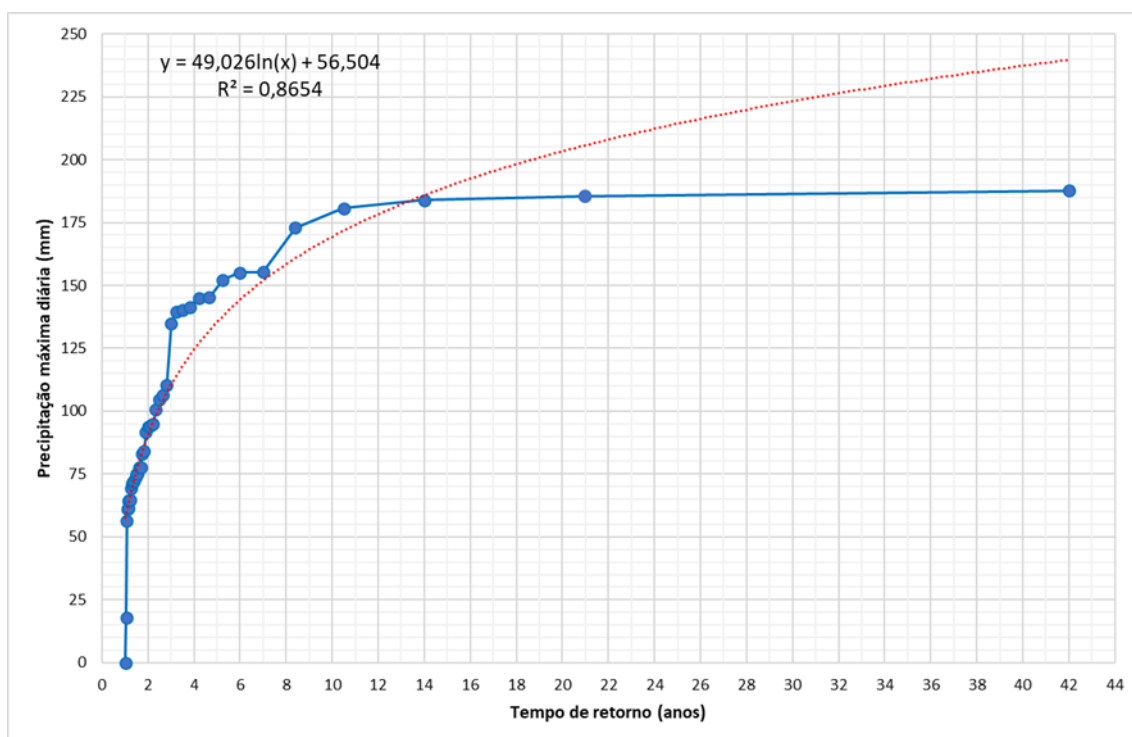
**Figura 2** - Frequência observada de valores diários de precipitação iguais ou foram superiores ao P95 (37,2 mm/dia), período de 1980 a 2020.



Ao utilizar o teste não paramétrico de Mann-Kendall para verificar a tendência, para o máximo diário ocorrido de forma mensal e anual, observou-se que não houve significância estatística no aumento ou diminuição dos valores de precipitação apresentados, para a série temporal de 1980 a 2020 em Maceió, Alagoas.

É possível verificar as precipitações máximas diárias esperadas para a capital alagoana durante a série temporal de 1980 a 2020, estimando o período de retorno (TR). Para o TR de até 2 anos, é aguardado que ocorra pelo menos um evento no valor de 90,5 mm/dia, enquanto que para o TR de 5 anos, o valor máximo diário de 135,4 mm. Quando se analisa um TR decenal o valor máximo diário de precipitação esperado é de até 169,4 mm. Aumentando-se para 214,3 mm (TR de 25 anos) e 223,3 mm (TR de 30 anos).

**Figura 3** - Período de retorno de precipitações máximas diárias esperadas para Maceió, período de 1980 a 2020.



Ressalta-se que a cada 1 mm de precipitação corresponde a 1 litro de água por uma unidade de área de 1 metro quadrado. Sendo assim, foram analisados os TR's, mensalmente, para quantificar a recorrência dos eventos máximos de chuvas em Maceió (Tabela 1).

Para no mês de junho (estação chuvosa) espera-se que a cada 5 anos ocorra um evento de precipitação em 24h de quase 100,0 mm (98,6 mm/dia), ou seja, isso representa 98,6 L/m<sup>2</sup> em um dia. Esse quantitativo aumenta para 187,1 mm/dia (187,1 L/m<sup>2</sup>/dia) com TR de 30 anos.

A cada 10 anos, são esperados valores que superam os 100,0 mm/dia pelo menos uma vez em cada mês da estação chuvosa (abril, maio, junho e julho). Por outro lado, os menores valores ocorrem no período mais seco (outubro a dezembro).

As equações do modelo para estimativa do TR também são apresentadas na Tabela 1, para cada mês, que conforme o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), quanto mais próximo do valor 1, mais representativo (bem-ajustado) é o modelo. Nesta pesquisa os valores de  $R^2$  variaram de 0,911 (fevereiro) a 0,984 (outubro).

De acordo com o estudo realizado por Souza *et al.* (2016), esses valores de precipitações máximas continuam a aumentar gradativamente para os períodos de retorno de 50 e 100 anos, para a quadra chuvosa (abril a julho) em Maceió, com 168,1 mm e 184,5 mm, respectivamente.

**Tabela 1** - Períodos de Retorno (TR, em anos) para ocorrência de precipitações máximas diárias, por mês, com as respectivas equações de ajuste, para Maceió, Alagoas.

Meses	Período de Retorno (anos)					Equação	$R^2$
	2	5	10	25	30		
Janeiro	19,3	44,5	63,6	88,9	93,9	$27,575LN(TR) + 0,1534$	0,967
Fevereiro	19	46,7	67,8	95,5	101	$30,31LN(TR) - 2,0406$	0,911
Março	29,5	59,7	82,5	112,7	118,7	$32,949LN(TR) + 6,6214$	0,963
Abril	35,9	78,2	110,3	152,6	161	$46,223LN(TR) + 3,8335$	0,975
Maiο	45,8	88,9	121,5	164,7	173,3	$47,08LN(TR) + 13,139$	0,976
Junho	53,4	98,6	132,9	178,1	187,1	$49,398LN(TR) + 19,132$	0,955
Julho	44,4	83	112,3	150,9	158,6	$42,148LN(TR) + 15,209$	0,962
Agosto	29,2	55,5	75,4	101,7	107	$28,731LN(TR) + 9,2497$	0,942
Setembro	20,5	42,7	59,4	81,6	86	$24,171LN(TR) + 3,7941$	0,976
Outubro	16,4	38,9	55,9	78,4	82,8	$24,536LN(TR) - 0,6138$	0,984
Novembro	13,1	42,1	64,1	93,2	99	$31,707LN(TR) - 8,8885$	0,930
Dezembro	11,7	29,1	42,2	59,7	63,1	$19,011LN(TR) - 1,5249$	0,942
Anual	90,5	135,4	169,4	214,3	223,3	$49,026LN(TR) + 56,504$	0,865

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos resultados obtidos com esta pesquisa, foi possível concluir que: O valor de 37,2 mm/dia é identificado como o percentil 95 diário da série anual, indicando que em 5% dos dias houve precipitação igual ou superior a esse valor, maio representa o mês que teve mais dias que se igualaram ou superaram esse quantitativo, com 73 dias; não foi identificado tendência significativa dos EEP diária, mensal e anualmente em Maceió, Alagoas.

A análise das precipitações máximas diárias esperadas para Maceió, durante a série temporal de 1980 a 2020, obteve-se os seguintes valores em relação ao período de retorno: 90,5 mm/dia para um TR de até 2 anos, 135,4 mm para um TR de 5 anos, 169,4 mm para um TR de 10 anos, 214,3 mm para um TR de 25 anos, e 223,3 mm para um TR de 30 anos. Estes valores devem aumentar com um período de retorno cada vez maior.

Durante o mês de junho, na estação chuvosa, espera-se que ocorra um evento de precipitação em 24 horas (98,6 mm/dia) a cada 5 anos, equivalente a 98,6 L/m<sup>2</sup> em um dia. Esse quantitativo aumenta para 187,1 mm/dia (187,1 L/m<sup>2</sup>/dia) com TR de 30 anos. A cada 10 anos, são esperados valores que superam os 100,0 mm/dia pelo menos uma vez em cada mês da estação chuvosa.

Esses resultados permitem entender a recorrência de eventos extremos de precipitação e auxiliam no planejamento e na mitigação de seus impactos. Demonstram a importância na demanda de estudos sobre período de retorno de eventos intensos de precipitação, fundamental para estimar a probabilidade de ocorrência de eventos de diferentes magnitudes ao longo do tempo. O conhecimento sobre a temática auxilia na questão de políticas públicas e implementação de medidas para proteger a população, principalmente a mais vulnerável, dos eventos climáticos extremos.

**Palavras-chave:** Chuvas extremas, Mann-Kendall, Tendência, Quadra chuvosa.

## **AGRADECIMENTOS**

O primeiro autor agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pela concessão da bolsa de mestrado, ao Laboratório de Climatologia Teórica e Aplicada (LACTA) e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). O terceiro autor agradece pelo apoio e fomento à pesquisa cedidos pela FAPEAL (edital 003/2022) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Chamada CNPq/MCTI N° 10/2023).

## **REFERÊNCIAS**

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.

CRUCIANI, D. E. **A drenagem na agricultura**. São Paulo: Nobel, 1986. 337 p.  
IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em: 9 jul. 2024.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mesorregião e Microrregião: Divisão Territorial Brasileira - DTB 2021**. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) Acesso em: 9 jul. 2024.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Área da unidade territorial: Área territorial brasileira 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em: 9 jul. 2024.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos do INMET**. Disponível em <https://bdmep.inmet.gov.br/#> Acesso em: 10 ago. 2022.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Measures**. Ed. Charles Griffin. London, 1975.

MANN, H. B. **Non-parametric tests against trend**. *Econometrica* 13, 245-259, 1945.

OHBA, M.; SUGIMOTO, S. Differences in climate change impacts between weather patterns: possible effects on spatial heterogeneous changes in future extreme rainfall. **Climate Dynamics**, v. 52, p. 4177-4191, 2019.

OLMO, M.; BETTOLLI, M. L.; RUSTICUCCI, M. Atmospheric circulation influence on temperature and precipitation individual and compound daily extreme events: Spatial variability and trends over southern South America. **Weather and Climate Extremes**, v. 29, 2020.

PINTO, N. L. de S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia básica**. 1. Ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1976. 304 p.

RODRIGUES, B. T.; CALHEIROS, S. Q. C.; MELO, N. A. de. Potencial de movimento de massa no município de Maceió-Alagoas. **Geo UERJ**, v. 1, n. 24, p. 207-227, 2013.

RODRIGUES, D. T.; GONÇALVES, W. A.; SPYRIDES, M. H. C.; SANTOS e SILVA, C. M.; SOUZA, D. O. de. Spatial distribution of the level of return of extreme precipitation events in Northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 40, p. 1-16, 2020.

SANCHES, F de O.; VERDUM, R.; FISCH, Gilberto. Tendência de Longo Prazo das Chuvas Diárias no Sudoeste do Rio Grande do Sul: os Eventos Extremos e a Arenização. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 6, p. 1100-1109, 2015.

SANTOS, D. L.; FRAGOSO JÚNIOR, C. R.; SOUZA, V. C. B. Limiar de precipitação com potencial de gerar deslizamentos nos complexos de risco em uma zona urbana. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 16, n. 2019, 2019.

SANTOS, D. D. dos; GALVANI, E. Proposta para determinação de eventos extremos de chuva no litoral norte paulista. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2021.

SOUSA, F. de A. S. de; VIEIRA, V. R.; SILVA, V. de P. R. da; MELO, V. da S.; GUEDES, R. W. de S. Estimativas dos riscos de chuvas extremas nas capitais do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 9, n. 2, p. 430-439, 2016.





TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2000

VIEIRA, D. B.; LOMBARDI NETO, F.; SANTOS, R. P. Análise das intensidades de chuvas em Pindorama (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, n. 2, p. 255-260, 1994.