

## COMPARAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS PARA PREENCHIMENTO DE FALHAS EM SÉRIES HISTÓRICAS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL

José Erick Duarte Almeida <sup>1</sup>  
José Ferreira Guedes Filho <sup>2</sup>  
Milena Cristina Rocha de Souza <sup>3</sup>  
Romário Glauber Fonseca Alves <sup>4</sup>

### RESUMO

Conhecer o regime hidrológico de uma região é extremamente importante para o desenvolvimento de diversos estudos socioambientais, principalmente aqueles que envolvem a gestão adequada dos recursos hídricos. Contudo, a realização desses estudos depende da existência de séries históricas de medições, dentre elas as séries históricas pluviométricas, onde por vezes os pesquisadores se deparam com falhas nesses dados. Desta forma, esta pesquisa objetiva comparar os resultados de diferentes metodologias de preenchimento de falhas em séries históricas pluviométricas, buscando contribuir para um melhor aproveitamento desses dados no desenvolvimento de diversos estudos e pesquisas em áreas afins. Para isto, foram utilizados no total cinco postos de medição pluviométrica, localizados na cidade de Cajazeiras - PB, em que se compararam três métodos diferentes: ponderação regional, regressão linear simples e regressão linear múltipla. As séries de dados utilizadas compreenderam os anos de 1994 a 2004, sendo feitos testes com precipitações totais anuais e mensais de cada ano. Para determinar qual o melhor método, foram feitos 154 testes, onde um dos postos foi considerado como sendo aquele que apresentaria falhas e os demais foram utilizados para o preenchimento dessas falhas. Em seguida, foram realizadas comparações com os dados reais observados, calculados os desvios médios relativos e os erros padrões para cada método. Os resultados apontaram que os métodos da ponderação regional e regressão linear múltipla são os mais indicados, apresentando resultados mais próximos dos reais, os menores desvios e erros padrões. Contudo, sua utilização está condicionada a existência de uma quantidade mínima de postos vizinhos.

**Palavras-chave:** Séries históricas, Precipitação, Comparação, Correção de Falhas.

### INTRODUÇÃO

A construção do conhecimento aprofundado em relação a uma bacia hidrográfica só é possível quando são desenvolvidos uma grande variedade de estudos, dentre eles, topográficos, geológicos, climáticos, socioeconômicos, ambientais e, principalmente, hidrológicos (CANELLAS & OLIVEIRA, 1998). Além disso, quando se fala no gerenciamento adequado dos recursos hídricos, é imprescindível o conhecimento acerca do regime hidrológico de uma

<sup>1</sup> Graduando de Engenharia Civil do Instituto Federal da Paraíba – Campus Cajazeiras, [erickduarte3@gmail.com](mailto:erickduarte3@gmail.com);

<sup>2</sup> Graduando de Engenharia Civil do Instituto Federal da Paraíba – Campus Cajazeiras, [jose.ferreiratf@gmail.com](mailto:jose.ferreiratf@gmail.com);

<sup>3</sup> Graduando de Engenharia Civil do Instituto Federal da Paraíba – Campus Cajazeiras, [mc47117@gmail.com](mailto:mc47117@gmail.com);

<sup>4</sup> Graduando de Engenharia Civil do Instituto Federal da Paraíba – Campus Cajazeiras, [romario.glauber@gmail.com](mailto:romario.glauber@gmail.com);

bacia hidrográfica, visto que os demais estudos hidrológicos desenvolvidos posteriormente são base para diversos projetos voltados para os diferentes usos da água, como a produção agrícola, abastecimento doméstico e industrial, entre outros (FIOREZE et al., 2010).

Contudo, o conhecimento sobre o clima e o regime hidrológico de uma região depende da existência e disposição de conjuntos de dados hidrometeorológicos observados durante um longo período de tempo, o que não é obtido de imediato, visto que quanto maior o histórico dos dados, melhor será o conhecimento acerca do regime da área estudada (CANELLAS & OLIVEIRA, 1998). Dentre os diversos fenômenos hidrometeorológicos a serem observados, e provavelmente um dos de maior importância, é a precipitação pluviométrica, sendo este um dos elementos mais irregulares espacial e temporalmente, causando impactos em grande parte das atividades humanas, sendo sua avaliação muito importante em diversos contextos, como produção agrícola, gestão dos recursos hídricos, avaliação ambiental, erosão hídrica, etc. (SILVA et al., 2009; BOTTEGA, LIMA & SILVA, 2011). Ainda, segundo Machado et al. (2010), as chuvas causam grandes impactos dentro das cidades, podendo ocasionar enchentes, erosões e danificações em obras da construção civil.

Contudo, estudos mais abrangentes acerca da pluviometria de uma dada região depende da existência de séries históricas que tenham qualidade e densidade suficientemente satisfatórias, que sejam longas e confiáveis, que ainda não estão disponíveis para diversas localidades do país (KOHLS, MELLO & OLIVEIRA, 2017). Além da dificuldade em obtenção dessas séries históricas, por vezes existem falhas nesses registros, que em sua maioria se devem a ausência de observador, perda de anotações e registros, falhas nos equipamentos de medições e o encerramento das observações, o que inviabiliza muitos estudos, já que existe a necessidade de se trabalhar com séries pluviométricas contínuas, sendo necessário que essas falhas sejam preenchidas (FIOREZE et al., 2010).

Existem diversos métodos empregados para o preenchimento de falhas em séries históricas de pluviometria e o objetivo deste trabalho é contribuir para a geração e disponibilidade de dados mais confiáveis, buscando promover o desenvolvimento de pesquisas nas áreas afins que têm a necessidade de se utilizar destas bases de dados.

## **METODOLOGIA**

### **Área de Estudo**

Para a realização deste estudo, foram utilizados um total de cinco postos pluviométricos, todos localizados no entorno da região de Cajazeiras, no estado da Paraíba, conforme o Quadro 1. Os dados referentes à localização dos postos e suas respectivas séries históricas foram obtidos por meio da plataforma HydroWeb, da Agência Nacional de Águas (ANA), e do site da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA).

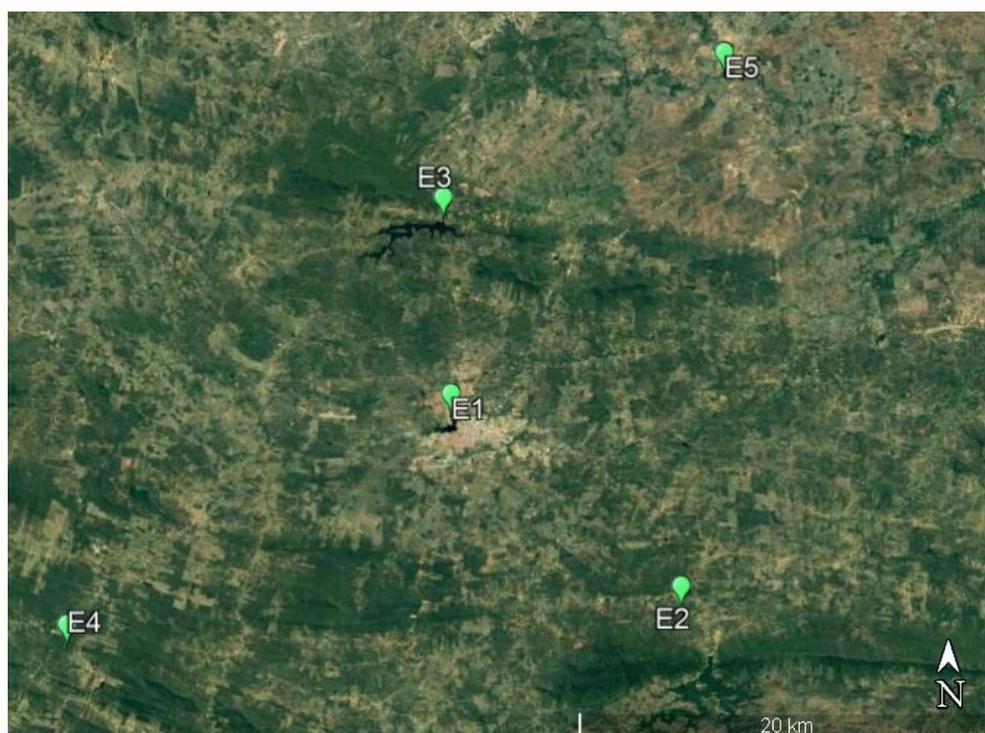
Quadro 1 – Dados dos postos de medições da região de Cajazeiras

Código	Postos	Longitude	Latitude
00638028	Cajazeiras (E1)	38° 34' 0.12" W	6° 53' 0.00" S
00638047	Engenheiro Ávidos (E2)	38° 28' 0.12" W	6° 58' 0.12" S
00638114	Açude Lagoa do Arroz (E3)	38° 34' 12.00" W	6° 47' 53.16" S
00638030	Balanças (E4)	38° 44' 0.00" W	6° 59' 0.00" S
00638032	Antenor Navarro (E5)	38° 26' 53.16" W	6° 44' 7.08" S

Fonte: ANA, 2019.

A seleção dos postos se deu conforme as recomendações de Leivas et al. (2006), que indica a escolha de postos próximos, com altitudes semelhantes, dentro de uma área considerada hidrologicamente homogênea. Sendo as suas localizações ilustradas na Figura 1.

Figura 1 – Localização dos postos pluviométricos na região de estudo



Fonte: Google Earth, 2019.

## Métodos de Preenchimento de Falhas

Ao todo foram utilizados três métodos de preenchimentos de falhas para séries históricas, todos descritos por Tucci (2007). Sendo eles ponderação regional, regressão linear simples e regressão linear múltipla. Para a realização dos testes foi escolhida uma série de dados de onze anos, de 1994 a 2004, por não apresentar nenhuma falha de observação nos postos estudados. Além disso, as análises foram realizadas com dados de precipitações totais anuais e posteriormente com dados de precipitações totais mensais para o mês de março de cada ano, escolhido por ser um dos meses mais chuvosos na região. Todos os cálculos foram realizados com o auxílio do software *Microsoft Excel*.

Foi necessário escolher um dos postos para ser a variável dependente na realização dos testes, ou seja, o posto que seria considerado como aquele que apresentaria falhas de medições, visto que o foco deste trabalho é somente comparar os três métodos e não corrigir falhas reais em um dos postos escolhidos. O posto escolhido como variável dependente foi o Cajazeiras (E1), por ser aquele que se encontrava a menor distância dos demais postos (distâncias inferiores a 20 quilômetros). Os outros postos (Engenheiro Ávidos, Açude Lagoa do Arroz, Balanças e Antenor Navarro) foram utilizados como variáveis independentes e os resultados de cada um dos métodos foram comparados com os dados reais medidos no posto Cajazeiras, para assim se determinar qual tinha melhor aproximação com o valor real observado, sendo também calculados os desvios médios relativos e os erros padrões para determinar com mais precisão qual o método tem sua utilização mais indicada. Sendo que no total foi necessária a realização de 154 testes.

### *Ponderação regional*

No método da ponderação regional, são necessários um total mínimo de três postos pluviométricos com no mínimo dez anos de dados e que estejam próximos ao posto no qual se quer estimar a precipitação, ou seja, devem estar dentro de uma região climaticamente homogênea. No caso desta pesquisa, foram utilizados quatro postos próximos ao qual se queria determinar a precipitação, sendo utilizada a equação abaixo:

$$y = \frac{1}{4} \cdot \left( \frac{x_1}{x_{m1}} + \frac{x_2}{x_{m2}} + \frac{x_3}{x_{m3}} + \frac{x_4}{x_{m4}} \right) \cdot y_m$$

Onde  $y$  é a precipitação a ser estimada;  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  e  $x_4$  são as precipitações correspondentes nos postos vizinhos no ano que se deseja preencher;  $y_m$  é a precipitação média do posto  $y$ ;  $x_{m1}$ ,  $x_{m2}$ ,  $x_{m3}$  e  $x_{m4}$  são as precipitações médias nos postos vizinhos.

### *Regressão linear simples*

Na regressão linear simples, as precipitações de um posto que apresenta falhas (variável dependente) são correlacionadas com as precipitações de um posto vizinho que não apresenta falhas (variável independente), onde a relação entre elas é representada por um modelo matemático que associa uma variável dependente com uma independente. Este modelo é designado como modelo de regressão linear simples e ele define uma relação linear entre as duas variáveis. O modelo matemático gerado é da forma:

$$y_i = \alpha + \beta \cdot x_i$$

Onde  $y_i$  é a variável dependente, ou seja, a precipitação que se quer estimar;  $x_i$  é a variável independente, que é a precipitação correspondente em um posto vizinho;  $\alpha$  e  $\beta$  são os coeficientes da regressão, que devem ser estimados através de cálculos.

### *Regressão linear múltipla*

Na regressão linear múltipla, diferente da regressão linear simples, a variável dependente é correlacionada com duas ou mais variáveis independentes, resultando também em um modelo matemático que relaciona as várias variáveis independentes com a variável dependente. O modelo final gerado tem a seguinte forma:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_{1_i} + \beta_2 \cdot x_{2_i} + \dots + \beta_n \cdot x_{n_i}$$

Onde  $y_i$  é a precipitação que se quer estimar;  $x_{1_i}$ ,  $x_{2_i}$ ,  $\dots$ ,  $x_{n_i}$  são as precipitações nos postos vizinhos; e  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\dots$ ,  $\beta_n$  são os coeficientes da regressão a serem calculados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Ponderação Regional

O Quadro 2 apresenta os resultados dos testes para o método de ponderação regional, sendo que os valores em tom de cinza mais escuro representam os resultados que mais se aproximaram do valor real em comparação com os demais métodos.

Quadro 2 – Resultados dos testes para precipitações totais anuais e mensais para o mês de março de 1994 a 2004 utilizando ponderação regional

Ano	Precipitações anuais (mm)		Precipitações mensais (mm)	
	Real	Calculado	Real	Calculado
1994	982,3	1036,9	106,6	115,6
1995	961,9	1025,5	193,9	253,3
1996	1349,8	1395,5	194,1	207,6
1997	1151,3	1110,5	320,2	256,9
1998	663,5	676,9	99,2	144,2
1999	955,5	999,1	263,1	279,7
2000	1331,1	1297,1	338,3	292,2
2001	653,0	710,7	298,3	267,8
2002	1026,7	1044,1	184,9	221,8
2003	990,2	879,8	255,3	243,1
2004	1234,8	1142,8	231,7	214,0

Fonte: Autoria própria, 2019.

Os resultados mostram que o método da ponderação regional teve seis resultados muito próximos aos valores reais. Além disso, ele teve um desvio médio relativo para as precipitações anuais de 5,07% e para as mensais de 14,09%. O erro padrão calculado para as precipitações anuais foi de 65,23 e de 40,80 para as precipitações mensais.

### Regressão Linear Simples

Os testes de regressão linear simples foram feitos utilizando cada um dos demais postos, sendo correlacionados com o posto Cajazeiras um de cada vez, cujos resultados estão dispostos

nos Quadros 3 e 4. Novamente, os valores em tom de cinza mais escuro são aqueles que mais se aproximaram das precipitações reais em comparação com os outros métodos.

Quadro 3 – Resultados dos testes para precipitações totais anuais de 1994 a 2004 utilizando regressão linear simples

Ano	Real (mm)	Calculado (mm)			
		E2	E3	E4	E5
1994	982,3	1257,4	701,2	1035,8	1108,2
1995	961,9	972,1	994,6	1078,3	1057,8
1996	1349,8	1297,1	1298,2	1313,8	1160,7
1997	1151,3	1126,4	1095,3	1086,4	1022,6
1998	663,5	755,4	808,6	893,0	769,3
1999	955,5	1185,2	874,2	1033,2	928,4
2000	1331,1	1022,0	1274,8	1144,4	1450,2
2001	653,0	783,4	781,5	1020,7	658,0
2002	1026,7	963,0	1070,5	991,3	1151,3
2003	990,2	948,5	1152,3	549,5	897,6
2004	1234,8	1075,1	1230,0	993,3	1146,1

Fonte: Autoria própria, 2019.

Quadro 4 – Resultados dos testes para precipitações totais mensais de março de 1994 a 2004 utilizando regressão linear simples

Ano	Real (mm)	Calculado (mm)			
		E2	E3	E4	E5
1994	106,6	124,7	138,1	208,5	200,1
1995	193,9	186,5	250,1	220,0	310,0
1996	194,1	249,9	181,5	251,3	177,7
1997	320,2	274,7	281,0	231,0	210,4
1998	99,2	89,7	97,8	260,5	197,4
1999	263,1	282,3	239,3	324,2	209,6
2000	338,3	227,0	270,6	229,5	284,9
2001	298,3	262,7	278,1	215,6	257,6
2002	184,9	264,3	164,5	203,9	263,5
2003	255,3	272,4	335,9	219,1	179,5
2004	231,7	251,5	258,6	183,7	210,2

Fonte: Autoria própria, 2019.

Para as regressões lineares simples, observa-se que a regressão com a maior quantidade de valores mais próximos aos reais é a regressão com o posto E2, para as precipitações anuais, e com o posto E3, para as precipitações mensais, apresentando, respectivamente, três e dois resultados próximos. Os desvios médios relativos e os erros padrões calculados estão dispostos no Quadro 5.

Quadro 5 – Desvios médios relativos e erros padrões para os resultados utilizando regressão linear simples

Posto	Precipitações anuais (mm)		Precipitações mensais (mm)	
	Desvio	Erro	Desvio	Erro
E2	12,29%	177,71	16,85%	54,44
E3	9,23%	133,94	15,31%	46,00
E4	16,37%	236,76	31,84%	91,10
E5	9,76%	122,69	30,48%	84,29

Fonte: Autoria própria, 2019.

Das quatro estações utilizadas, a estação E3 é aquela que obteve os melhores resultados dentre as regressões lineares, pois apresenta os menores desvios, tanto para as precipitações anuais quanto mensais, bem como erros padrões inferiores em comparação com os demais postos. Os resultados para o posto E5 nas precipitações anuais foram muito próximos daqueles obtidos para o posto E3, porém seus resultados para as precipitações totais mensais não foram tão satisfatórios em comparação com este.

### Regressão Linear Múltipla

O Quadro 6 apresenta os resultados dos testes utilizando o método da regressão linear múltipla com os quatro postos.

Quadro 6 – Resultados dos testes para precipitações totais anuais e mensais para o mês de março de 1994 a 2004 utilizando regressão linear múltipla

Ano	Precipitações anuais (mm)		Precipitações mensais (mm)	
	Real	Calculado	Real	Calculado
1994	982,3	938,4	106,6	67,4
1995	961,9	1001,4	193,9	276,8

1996	1349,8	1425,0	194,1	195,9
1997	1151,3	1107,7	320,2	276,4
1998	663,5	662,0	99,2	82,2
1999	955,5	970,2	263,1	293,6
2000	1331,1	1279,5	338,3	269,1
2001	653,0	613,1	298,3	284,1
2002	1026,7	1068,3	184,9	242,2
2003	990,2	1033,0	255,3	307,0
2004	1234,8	1199,0	231,7	231,4

Fonte: Autoria própria, 2019.

Os resultados apresentados no Quadro 6 mostram que o método obteve seis valores muito próximos aos reais, três nas precipitações e três nas mensais. O desvio médio relativo calculado foi de 3,81% para as precipitações anuais e de 16,41% para as mensais. Os erros padrões foram de 47,56 e 50,0 para as precipitações anuais e mensais, respectivamente.

### Comparação dos Resultados

Dentre os três métodos, aqueles que apresentaram os melhores resultados foram os métodos da ponderação regional e da regressão linear múltipla. O método da regressão linear simples teve uma única regressão com bons resultados, que foi a regressão com o posto E3 (Açude Lagoa do Arroz), mas estes ainda foram menos satisfatórios em comparação com os outros dois métodos, que tiveram desvios variando de 3,81% à 16,41% e erros inferiores a 65,23. Enquanto que a regressão linear teve desvios variando de 9,23% a 31,84% e erros com valores variando de 46,0 a 236,76.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho se propôs a comparar diferentes métodos utilizados no preenchimento de falhas em séries históricas anuais e mensais de precipitações pluviométricas, cujo foco foi unicamente comparar os métodos apresentados.

Os resultados apontaram que os métodos de ponderação regional e regressão linear múltipla são os mais indicados para emprego neste tipo de situação, visto que obtiveram valores de desvio médio relativo e erro padrão muito inferiores em comparação com o método da

regressão linear simples. Contudo, a utilização destes dois métodos está condicionada a existência de mais de um posto de medição vizinho a aquele que se quer preencher a falha, e que estes possuam séries históricas contínuas em anos que coincidam. Em casos onde isso não é possível, só resta a utilização da regressão linear simples para o preenchimento das falhas.

Além disso, faz-se necessário que o pesquisador que utilizará dados pluviométricos tenha em mente que quanto maior for a quantidade de postos de medição vizinhos e quanto maiores forem as séries históricas, melhores serão os resultados. Contudo, deve-se sempre considerar que apesar de apresentarem valores muito próximos aos reais, os métodos de preenchimento de falhas não resultam em dados reais, mas sim estimados, e devem se rutilizados com consciência. Sendo recomendado a utilização de mais de um deles sempre que se fizer necessário o preenchimento de uma falha.

## **REFERÊNCIAS**

BOTTEGA, E. L.; LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A. Variabilidade espacial da precipitação pluviométrica para o Estado do Espírito Santo utilizando métodos multivariados. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 4, p. 703-709, 2011.

CANELLAS, A. V. B.; OLIVEIRA, L. C. K. Importância de dados hidrometeorológicos confiáveis no gerenciamento de recursos hídricos. In: Simpósio Internacional Sobre Gestão de Recursos Hídricos, 1998, Gramado. **Anais...** Gramado: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998. p. 1-6.

FIGUEIREDO, A. P. et al. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 11, p.1186-1192, 2010.

LEIVAS, J. F.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Risco de deficiência hídrica decennial na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 397-407, 2006.

KOHL, W.; MELLO, Y. R.; OLIVEIRA, T. M. N. Uso de diferentes métodos para o preenchimento de falhas em estações pluviométricas. **Boletim de Geografia**, Maringá, ano 2017, v. 35, n. 1, p. 112-121, 2017.

MACHADO, R. L. et al. Spatial variability of maximum annual daily rain under different return periods at the Rio de Janeiro State, Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 77-84, 2010.

SILVA, L. L. da et al. Influência das precipitações na produtividade agrícola no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p.454-461, 2009.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 2007.