

Aplicação de técnicas de preenchimento de falhas de dados de pluviosidade mensal e anual para o noroeste do estado de Minas Gerais - Brasil.

Aion Angelu Ferraz Silva
Doutorando em Geografia, UFMG
Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico
Universidade Federal de Minas Gerais; IFMG,
campus Sabará
Carlos Henrique Jardim
Professor Associado, Departamento de Geografia,
UFMG

Resumo

A utilização de séries históricas de dados meteorológicos exige a aplicação de técnicas estatísticas para correção de falhas (ausência, erro de registro etc.), podendo comprometer a análise caso não seja implementada. A partir dessa perspectiva, a finalidade deste artigo foi analisar diferentes métodos estatísticos de correção de dados de pluviosidade (Média Aritmética, Ponderação Regional, Regressão Linear Múltipla e Ponderação Regional com Base em Regressões Lineares) e discutir sua aplicação. Foram obtidos dados de chuva diários de sete estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (situadas na porção noroeste do estado de Minas Gerais) entre os anos de 1995/1996 e 2014/2015, cuja validação foi realizada pelo processo de consistência da técnica de dupla massa. Foi utilizada uma estação de testes para correção (Fazenda Conceição) e outras seis de apoio, que totalizaram 1040 registros estimados de precipitação (240 meses e mais 20 anos para cada). A Regressão Linear Múltipla foi a técnica que obteve as melhores estimativas nas escalas anual e mensal para o período de outubro a maio (meses chuvosos), porém não houve a prevalência de uma técnica no período de junho a setembro (meses seco).

Palavras-chave: Correção estatística; Pluviosidade; Dupla massa; Regressão Linear Múltipla.

Abstract

The use of historical series of meteorological data requires the application of statistical techniques to correct faults (absence, error of registration, etc.) and may compromise the analysis if not implemented. From this perspective, the purpose of this paper was to analyze different statistical methods of correcting rainfall data (Arithmetic Average, Regional Weighting, Multiple Linear Regression and Regional Weighting Based on Linear Regressions) and discuss their application. Daily rainfall data were obtained from seven rainfall stations of the National Water Agency (located in the northwestern portion of the state of Minas Gerais) between 1995/1996 and 2014/2015, whose validation was performed by the double technique consistency process. It was used a test station for correction (Fazenda Conceição) and six support, which totaled 1040 estimated rainfall records (240 months and another 20 years for each). Multiple Linear Regression was the technique that obtained the best estimates on the annual and monthly scales for the period from October to May (rainy months), but there was no prevalence of a technique from June to September (dry months).

Keywords: Statistical correction; Rainfall; Double mass; Multiple Linear Regression.

aion.silva@ifmg.edu.br
dxhenrique@gmail.com

Introdução

Dentre as principais fontes de dados para pesquisas em climatologia encontram-se as séries históricas das estações meteorológicas da rede oficial do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da rede de dados das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA), principalmente quando a temática envolve espaços regionais e locais da dimensão de centenas a milhares de km². Outra fonte importante de dados é obtida diretamente em campo em pesquisas de microclimatologia. Entretanto, independente da natureza dos dados e das características do objeto de pesquisa, as estações meteorológicas e pluviométricas da rede oficial constituem-se em importante referência do ambiente atmosférico em superfície e controle das variáveis climáticas locais/regionais, fazendo parte, inclusive, dos procedimentos de pesquisa em climatologia verificar a presença de estações meteorológicas nas proximidades da área de estudo. São utilizadas, também, para aferição dos equipamentos de mensuração utilizados em campo.

A relativa ausência dessas estações e/ou postos pluviométricos pelo amplo espaço do território brasileiro justifica o aproveitamento ao máximo dos dados existentes, o que pode ser feito, até certa medida, corrigindo as falhas através de procedimentos estatísticos.

Apesar de sua importância, a utilização dos dados produzidos pelas estações meteorológicas requer certa cautela, havendo necessidade de verificação, incluindo procedimentos de correção, estimativas e, até mesmo, o descarte dos dados, seja pela falta de sobreposição temporal para efeito de comparação ou pela presença de falhas ou simplesmente quando as correções e estimativas falham. Zavattini e Boin (2013) descrevem situação em contexto de pesquisa sobre a variabilidade das chuvas na bacia do rio Paranapanema, o descarte da maior parte dos dados de 1197 para 132 estações pluviométricas/meteorológicas.

Apesar de não se tratar de temática nova nas pesquisas em climatologia, é fundamental que se discuta a replicação de uma dada técnica num contexto espacial-climático diferenciado de onde essa técnica foi obtida e aplicada anteriormente, uma vez que não existem procedimentos universais válidos para todas as possíveis situações, sem necessidade de ajustes. Disso decorre a necessidade de testá-los em diferentes contextos ambientais, já que o clima possui como uma de suas principais características a qualidade de “singularidade”, ou seja, de não repetição nos diferentes lugares, conforme destacam Sorre (1934) e Monteiro (1999). Esse aspecto é, muitas vezes, negligenciado pelos pesquisadores e/ou usuários de dados climáticos, conferindo maior importância à aplicação das técnicas estatísticas de tratamento dos dados do que na compreensão das características e dinâmica do objeto de estudo, como se tais procedimentos fossem aplicáveis a qualquer conjunto de dados numéricos, independentemente de sua natureza.

Diversos autores, incluindo incontáveis artigos, dissertações e teses na área de climatologia, debateram essa questão tanto em termos específicos de aplicação de técnicas quanto relativos a aspectos teóricos, podendo-se mencionar os trabalhos de Oliveira et al. (2010) que utilizaram seis estações pluviométricas no estado Goiás para estimar qual das nove técnicas empregadas obteve menor desvio relativo em comparação ao dado real, sendo definida a regressão linear múltipla como a melhor técnica. Bier e Ferraz (2017) confrontaram os resultados de seis diferentes metodologias de preenchimento de falhas de pluviosidade para 52

estações situadas na região sul do Brasil, concluindo pela não adoção de uma técnica específica. Mello et al. (2017) compararam quatro técnicas de correção de falhas de precipitação para oito estações posicionadas em diferentes altitudes (planície, planalto e serra) na região próxima ao município de Joinville-SC, definindo a regressão linear múltipla como a técnica com melhor desempenho. Soares e Silva (2017) aplicaram as técnicas de média aritmética e ponderação regional com base em regressão linear para estimar falhas de pluviosidade mensal para o estado do Mato Grosso do Sul, optando pelo uso da média aritmética em virtude do melhor resultado alcançado. Junqueira et al (2018) que conferiram o desempenho aferido por seis técnicas de preenchimentos de falhas para seis estações pluviométricas localizadas na bacia do Rio das Mortes (Minas Gerais) chegando à conclusão de que a regressão linear múltipla era a mais adequada.

Além dos autores acima mencionados, cabe ressaltar o trabalho desenvolvido por Beltrame (1994), que aplica o método dos polígonos de Thiessen para determinar a área de influência das estações meteorológicas e, conseqüentemente, da representatividade espacial e temporal dos valores obtidos pontualmente, a partir da mediatriz entre estações adjacentes. No interior das áreas determinadas pela mediatriz a altura pluviométrica é, supostamente, a mesma do respectivo posto cuja influência se estende por essa área, o que é interessante para espaços onde não há postos pluviométricos, apesar de não considerar a influência do relevo. García (1996) discute de forma geral as características das fontes de informação, tratamento estatístico dos dados climáticos e a qualidade das séries temporais, além da aplicação e validade de técnicas estatísticas para dados de interesse geográfico (e não apenas climatológico) tratados por Rogerson (2012) e Ferreira (2014). Todos esses aspectos reforçam a necessidade de se valorizar o dado produzido e, para isso, as correções constituem-se em procedimentos importantes, pois, na medida do possível, reduz a possibilidade de seu descarte. Muitas vezes a simples verificação visual possibilita a identificação do erro, sendo originada por diversos motivos (falha humana de leitura do dado mensurado, pane temporária ou permanente sem reposição imediata do equipamento de mensuração, necessidade de calibração periódica etc.).

Nesse sentido o objetivo deste artigo foi discutir a utilização de quatro técnicas estatísticas (Média Aritmética, Ponderação Regional, Regressão Linear Múltipla e a Ponderação Regional com Base em Regressões Lineares) para estimativas visando o preenchimento e correção de falhas de dados de pluviosidade, aplicados à região do noroeste do estado de Minas Gerais, nas proximidades do município de Unai.

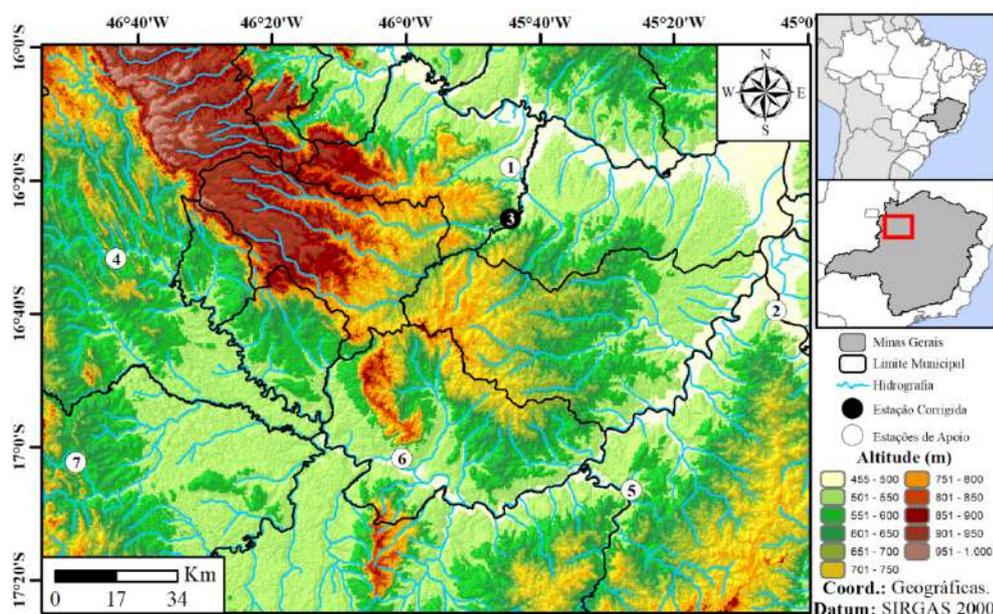
A área de estudo está situada à noroeste do estado de Minas Gerais e próxima à divisa com o estado de Goiás. As características climáticas inclui os tipos Tropical Quente Semiúmido (4 a 5 meses secos), com período de maiores temperaturas e totais pluviométricos durante a primavera-verão, em contraposição ao período de estiagem no outono-inverno (NIMER, 1989).

Material e métodos

Para realizar os testes comparativos que visam definir qual a melhor técnica de correção de falhas de precipitação, foi necessário utilizar dados diários de pluviosidade de sete estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas

(ANA), localizadas na porção noroeste do estado de Minas Gerais (Figura 1). Os cálculos (medidas estatísticas e de estimativa de precipitação) e a confecção dos gráficos foram realizados no *software* Microsoft Excel® 2016.

A definição das estações pluviométricas (Tabela 1) obedeceu aos seguintes critérios: (a) proximidade espacial entre uma estação central (que seria utilizada como teste de estimativa para correção) e outras estações adjacentes (estações de apoio); (b) série histórica sem falhas nos dados diários entre 1995/1996 e 2014/2015; (c) altitude próxima entre a estação a ser corrigida e as estações de apoio; (d) características pluviométricas semelhantes ao longo do tempo.



Fonte: ANA; USGS, 2018. Elaborado pelos autores.

Figura 1 – Mapa de localização das estações pluviométricas utilizadas.

Tabela 1 – Estações pluviométricos utilizadas.

Nº	Código	Nome	Município	Altitude (m)	Lat. (º)	Long. (º)	Distância (km)
1	1645005	Vila Uruçuaia	Riachinho	517	-16,30	-45,74	14,38
2	1645009	Cachoeira da Manteiga	Buritizeiro	476	-16,66	-45,08	74,90
3	1645019	Fazenda Conceição	Riachinho	508	-16,43	-45,74	-
4	1646003	Santo Antônio do Boqueirão	Unai	550	-16,53	-46,72	105,22
5	1745001	Cachoeira do Paredão	Buritizeiro	509	-17,11	-45,44	81,76
6	1746001	Porto da Extrema	Brasilândia de Minas	495	-17,03	-46,01	72,37
7	1746017	Fazenda Poções	Paracatu	565	-17,04	-46,82	133,49

Fonte: ANA, 2018. Elaborado pelos autores.

Os dados chuva de todas as estações foram obtidos no site Hidroweb

(ANA, 2018) e avaliados em relação a ocorrência de falhas. Nesse sentido, foi adotada as normatizações de consistência de dados meteorológicos conforme estabelecido pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1989), que orienta aproveitar somente as séries temporais mensais que possuem todos os registros diários completos. Os dados pluviométricos e a estatística descritiva (tendência central e dispersão) da Estação 3 (que serviu de teste para estimativa de precipitação) e das demais estações de apoio, estão sintetizados nas Tabelas 2 a 8.

Tabela 2 – Série histórica dada Estação 3 (mm).

Ano	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Anual
1995/1996	0,0	0,0	0,0	73,2	203,8	311,9	35,3	57,3	82,0	40,1	10,7	0,0	814,3
1996/1997	0,0	0,0	1,3	24,7	334,8	195,4	262,6	112,8	329,4	85,8	50,3	38,6	1.435,7
1997/1998	0,0	0,0	20,8	76,5	96,9	211,1	266,1	168,0	30,2	35,5	0,0	0,0	905,1
1998/1999	0,0	0,0	0,0	114,1	269,9	180,4	135,6	114,5	246,0	18,0	14,0	0,0	1.092,5
1999/2000	0,0	0,0	6,5	63,9	179,3	275,8	230,0	90,8	210,3	4,1	0,0	0,0	1.060,7
2000/2001	1,3	33,3	35,2	74,6	436,9	193,5	32,5	25,3	108,3	6,4	52,6	7,0	1.006,9
2001/2002	0,0	10,7	16,1	96,0	271,5	247,3	127,8	232,5	92,8	3,6	0,0	0,0	1.098,3
2002/2003	25,0	0,0	42,1	19,0	253,4	262,5	232,5	77,3	207,0	22,6	9,7	0,0	1.151,1
2003/2004	0,0	11,8	0,0	45,0	121,9	144,9	223,3	279,0	311,7	38,2	0,0	2,7	1.178,5
2004/2005	2,0	0,0	0,0	52,9	130,4	285,3	207,0	97,3	338,9	6,5	22,3	0,1	1.142,7
2005/2006	0,0	4,5	56,4	24,0	245,9	250,4	69,0	57,5	230,8	110,4	4,1	0,0	1.053,0
2006/2007	0,0	2,3	94,8	103,1	241,1	377,4	259,9	210,1	3,0	35,0	2,3	0,0	1.329,0
2007/2008	0,0	0,0	0,0	4,0	140,2	122,1	203,0	169,5	192,3	78,2	0,0	0,0	909,3
2008/2009	0,0	0,0	6,0	26,5	129,6	249,9	300,6	195,0	81,7	98,7	9,0	14,5	1.111,5
2009/2010	1,2	71,1	33,7	141,9	192,9	280,4	116,4	54,5	189,5	104,1	23,0	2,2	1.210,9
2010/2011	0,0	0,0	10,0	181,6	193,5	279,6	257,6	27,1	382,0	88,4	8,3	0,0	1.428,1
2011/2012	0,0	0,0	0,0	100,2	299,3	390,8	92,6	43,8	142,6	5,3	9,2	0,0	1.083,8
2012/2013	0,0	0,0	9,5	28,5	487,9	73,9	365,7	60,8	166,4	193,1	4,2	2,3	1.392,3
2013/2014	0,0	0,0	35,1	99,1	135,9	507,0	75,1	64,9	70,2	27,1	0,0	14,7	1.029,1
2014/2015	0,0	0,0	0,0	31,3	260,6	196,0	43,0	165,0	162,2	41,8	6,3	0,0	906,2
Máximo	25,0	71,1	94,8	181,6	487,9	507,0	365,7	279,0	382,0	193,1	52,6	38,6	1.435,7
Média	1,5	6,7	18,4	69,0	231,3	251,8	176,8	115,1	178,9	52,1	11,3	4,1	1.116,9
Mínimo	0,0	0,0	0,0	4,0	96,9	73,9	32,5	25,3	3,0	3,6	0,0	0,0	814,3
S	5,6	17,1	24,9	46,1	103,2	98,3	98,7	73,7	106,2	49,2	15,4	9,3	175,7

Fonte: ANA, 2018. Elaborado pelos autores.

Tabela 3 – Série histórica dada Estação 1 (mm).

Ano	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Anual
1995/1996	0,0	0,0	0,0	73,3	265,5	159,0	22,1	16,3	123,6	48,1	15,1	0,0	723,0
1996/1997	0,0	0,0	0,0	74,5	156,2	220,6	169,2	92,1	267,2	182,6	31,8	61,1	1255,3
1997/1998	0,0	0,0	10,0	48,2	136,2	192,6	228,7	147,7	73,1	26,0	0,0	0,0	862,5
1998/1999	0,0	0,0	0,0	123,2	285,6	168,6	152,6	75,0	146,3	28,1	1,0	0,0	980,4
1999/2000	0,6	0,0	12,5	52,3	158,8	247,5	249,8	111,0	158,7	2,5	0,0	0,0	993,7
2000/2001	0,0	21,0	12,0	84,1	225,9	211,2	25,6	46,2	66,4	28,9	51,5	1,5	774,3
2001/2002	0,0	0,0	5,1	72,5	253,5	203,6	219,3	171,5	62,5	0,0	4,6	0,0	992,6
2002/2003	0,0	0,0	29,9	26,7	144,7	270,6	244,9	95,7	231,7	23,5	31,9	0,0	1099,6
2003/2004	0,0	2,9	16,5	20,2	104,9	123,7	336,7	315,4	246,0	44,0	0,0	0,0	1210,3
2004/2005	0,0	0,0	0,0	26,3	74,9	266,3	163,8	100,8	288,4	23,4	5,4	0,0	949,3
2005/2006	0,0	0,0	15,4	3,7	416,8	148,6	65,6	57,8	136,4	90,8	0,0	0,0	935,1
2006/2007	0,0	11,7	18,6	194,7	283,8	243,1	207,0	266,5	3,8	40,9	1,2	0,0	1271,3
2007/2008	0,0	0,0	0,0	1,6	222,5	119,8	112,2	134,9	164,2	113,9	0,0	0,0	869,1
2008/2009	0,0	0,0	30,4	0,0	183,4	337,4	264,8	132,4	77,4	136,3	12,2	19,1	1193,4
2009/2010	0,0	27,3	8,8	190,2	87,6	258,4	72,3	33,1	149,8	131,5	26,2	0,0	985,2
2010/2011	0,0	0,0	0,0	153,1	193,1	235,4	204,8	51,3	303,7	70,7	0,0	0,0	1212,1
2011/2012	0,0	0,0	0,0	117,7	277,6	273,7	77,4	17,1	173,6	0,0	5,6	0,0	942,7
2012/2013	0,0	0,0	8,5	7,1	311,2	83,0	297,0	22,2	166,9	39,1	3,9	2,7	941,6
2013/2014	0,0	0,0	0,0	155,1	85,0	548,7	63,5	96,9	124,5	37,7	0,0	0,0	1111,4
2014/2015	0,0	0,0	0,0	23,4	173,0	212,1	37,3	125,5	98,0	61,5	29,7	0,0	760,5
Máximo	0,6	27,3	30,4	194,7	416,8	548,7	336,7	315,4	303,7	182,6	51,5	61,1	1271,3
Média	0,0	3,1	8,4	72,4	202,0	226,2	160,7	105,5	153,1	56,5	11,0	4,2	1003,2
Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	74,9	83,0	22,1	16,3	3,8	0,0	0,0	0,0	723,0
S	0,1	7,7	9,8	63,5	89,0	98,0	96,2	78,2	81,0	50,1	15,1	14,1	165,9

Fonte: ANA, 2018. Elaborado pelos autores.

Tabela 4 – Série histórica dada Estação 2 (mm).

Ano	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Anual
1995/1996	0,0	0,0	0,0	57,4	272,3	208,0	42,3	28,2	168,0	93,0	6,7	0,0	875,9
1996/1997	0,0	0,0	13,9	57,9	202,8	214,5	204,8	118,2	285,6	38,7	37,4	17,4	1191,2
1997/1998	0,0	0,0	46,6	36,8	123,4	178,5	194,3	99,2	15,8	30,5	0,2	0,0	725,3
1998/1999	1,0	1,2	0,0	93,7	221,3	142,9	128,6	180,6	309,2	1,5	1,4	0,0	1081,4
1999/2000	0,0	0,0	8,2	89,4	195,8	193,0	243,9	118,6	186,9	3,7	5,8	0,0	1045,3
2000/2001	1,3	29,2	43,8	27,8	121,7	168,6	125,1	49,0	95,5	17,4	39,5	0,0	718,9
2001/2002	1,8	2,4	2,7	127,4	212,9	249,1	312,9	227,0	79,1	0,5	0,0	0,0	1215,8
2002/2003	0,0	0,1	62,3	9,6	127,6	232,3	248,0	56,7	62,2	32,8	19,4	0,0	851,0
2003/2004	0,0	1,3	0,5	45,1	122,5	152,4	162,8	271,2	134,2	93,9	0,0	15,1	999,0
2004/2005	0,6	0,3	0,0	21,4	113,3	378,4	269,4	111,0	236,2	8,2	7,3	4,7	1150,8
2005/2006	0,0	0,0	3,0	7,7	510,5	263,4	3,9	46,9	202,4	92,7	9,4	8,9	1148,8
2006/2007	0,4	9,6	54,8	151,2	315,3	313,9	141,2	278,3	53,0	41,4	1,4	0,0	1360,5
2007/2008	0,0	0,0	0,0	18,9	86,6	100,0	120,8	132,3	167,1	114,7	0,0	0,0	740,4
2008/2009	0,0	0,0	4,5	5,0	96,2	241,2	284,4	96,3	49,8	108,3	4,5	1,3	891,5
2009/2010	0,0	10,5	68,5	210,6	26,1	394,4	100,9	52,6	103,6	51,3	46,3	0,0	1064,8
2010/2011	0,0	0,0	2,8	216,5	190,4	215,1	252,5	50,7	252,2	103,6	8,1	0,0	1291,9
2011/2012	0,0	0,0	0,0	120,6	165,5	293,8	89,4	132,0	71,1	1,0	22,1	0,0	895,5
2012/2013	0,0	0,0	2,7	8,9	174,6	41,9	146,5	13,0	161,5	67,2	12,1	2,6	631,0
2013/2014	0,0	0,0	44,8	52,2	77,7	500,8	62,1	46,7	72,8	7,7	0,0	0,0	864,8
2014/2015	0,0	0,0	0,0	50,2	263,7	151,6	94,6	92,4	209,0	30,3	14,9	0,0	906,7
Máximo	1,8	29,2	68,5	216,5	510,5	500,8	312,9	278,3	309,2	114,7	46,3	17,4	1360,5
Média	0,3	2,7	18,0	70,4	181,0	231,7	161,4	110,0	145,8	46,9	11,8	2,5	982,5
Mínimo	0,0	0,0	0,0	5,0	26,1	41,9	3,9	13,0	15,8	0,5	0,0	0,0	631,0
S	0,5	6,9	24,6	64,7	106,1	106,6	86,5	76,8	85,0	40,6	14,2	5,2	204,6

Fonte: ANA, 2018. Elaborado pelos autores.

Tabela 5 – Série histórica dada Estação 4 (mm).

Ano	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Anual
1995/1996	0,0	0,0	0,0	83,4	258,6	240,6	86,6	73,7	119,2	133,1	24,3	0,0	1019,5
1996/1997	0,0	24,9	15,4	79,8	217,2	226,9	296,4	118,7	168,6	145,3	33,0	87,1	1413,3
1997/1998	0,0	0,0	55,2	57,9	208,7	215,1	296,8	109,3	74,6	62,5	29,0	0,0	1109,1
1998/1999	0,0	3,1	0,0	154,9	310,4	200,9	91,0	98,6	315,1	13,7	6,7	0,0	1194,4
1999/2000	0,0	0,0	42,3	94,7	139,3	327,5	176,9	205,1	272,1	32,3	0,0	0,0	1290,2
2000/2001	17,1	29,8	29,6	83,7	353,4	148,6	52,6	44,1	158,3	0,3	25,7	5,9	949,1
2001/2002	3,4	41,0	28,1	104,6	263,5	230,9	148,0	235,5	116,0	1,1	14,5	0,0	1186,6
2002/2003	0,0	0,0	24,2	6,3	171,6	283,9	289,0	112,0	165,0	42,0	46,6	0,0	1140,6
2003/2004	0,0	25,0	5,2	43,9	170,2	175,3	534,4	395,6	129,8	89,4	0,0	0,9	1569,7
2004/2005	11,3	0,0	0,0	116,0	173,4	338,7	288,4	217,7	428,0	79,7	3,7	3,3	1660,2
2005/2006	0,0	0,0	21,7	3,7	366,3	367,4	167,2	178,2	308,0	133,2	10,9	0,0	1556,6
2006/2007	0,0	6,3	47,4	173,6	216,6	351,7	205,7	444,0	17,2	25,6	2,6	0,0	1490,7
2007/2008	0,4	0,0	0,0	41,9	102,4	230,5	258,1	123,1	161,8	129,8	0,0	0,0	1048,0
2008/2009	0,0	0,0	36,6	2,6	222,7	304,7	243,7	161,5	59,0	151,2	7,7	4,6	1194,3
2009/2010	0,0	38,1	34,9	147,3	138,8	337,9	124,7	61,7	432,8	85,4	31,6	2,3	1435,5
2010/2011	0,0	0,0	25,2	125,1	168,2	154,6	296,2	30,2	389,8	90,8	14,9	0,8	1295,8
2011/2012	0,0	0,0	0,2	202,2	168,5	344,3	188,3	132,7	95,9	25,1	12,5	1,8	1171,5
2012/2013	0,0	0,0	21,9	10,2	394,5	140,6	318,1	56,4	269,2	79,7	28,7	18,3	1337,6
2013/2014	0,0	0,0	28,9	126,1	77,6	427,2	94,0	98,0	243,5	122,4	0,0	4,5	1222,2
2014/2015	1,4	0,0	2,0	67,6	178,8	214,7	52,0	243,1	211,1	129,3	46,8	0,0	1146,8
Máximo	17,1	41,0	55,2	202,2	394,5	427,2	534,4	444,0	432,8	151,2	46,8	87,1	1660,2
Média	1,7	8,4	20,9	86,3	215,0	263,1	210,4	157,0	206,8	78,6	17,0	6,5	1271,6
Mínimo	0,0	0,0	0,0	2,6	77,6	140,6	52,0	30,2	17,2	0,3	0,0	0,0	949,1
S	4,5	14,3	17,5	58,4	86,5	82,7	117,5	109,7	121,8	50,7	15,3	19,4	196,0

Fonte: ANA, 2018. Elaborado pelos autores.

Tabela 6 – Série histórica dada Estação 5 (mm).

Ano	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Anual
1995/1996	0,0	0,0	0,0	96,2	257,6	303,5	64,8	90,9	104,1	1,4	44,0	0,0	962,5
1996/1997	0,0	0,0	20,6	83,4	390,1	213,7	277,8	186,5	266,0	73,1	15,4	8,7	1535,3
1997/1998	0,0	0,0	40,7	97,0	100,3	241,4	182,1	210,8	62,8	36,6	25,0	0,0	996,7
1998/1999	0,0	1,6	0,0	127,6	233,7	290,2	198,3	191,8	198,7	5,9	0,5	0,0	1248,3
1999/2000	0,0	0,0	11,8	89,5	149,0	166,0	224,2	116,3	174,6	7,8	0,0	0,0	939,2
2000/2001	1,3	32,6	41,2	21,6	293,8	204,8	77,6	13,6	115,4	8,4	39,9	0,0	850,2
2001/2002	0,7	16,6	36,8	99,1	256,2	199,6	223,4	207,5	132,7	5,1	0,0	0,0	1177,7
2002/2003	2,5	3,1	13,5	17,3	71,2	307,5	318,1	41,7	144,8	41,5	47,5	0,0	1008,7
2003/2004	0,0	6,6	0,7	109,4	131,6	184,7	312,7	295,5	190,6	109,9	0,0	1,0	1342,7
2004/2005	11,3	0,0	0,0	42,8	181,8	344,2	322,9	96,2	227,5	2,1	13,0	7,2	1249,0
2005/2006	0,0	0,0	16,3	15,0	455,2	231,3	47,5	53,7	210,8	74,6	0,7	1,7	1106,8
2006/2007	1,8	5,3	22,4	158,8	304,2	338,6	266,8	294,4	13,0	33,2	0,0	0,0	1438,5
2007/2008	21,2	0,0	3,1	1,1	89,5	145,4	199,4	160,0	180,1	34,7	1,2	0,0	835,7
2008/2009	0,0	1,4	7,7	16,6	200,0	281,7	296,0	94,4	129,2	40,7	1,1	3,0	1071,8
2009/2010	0,3	14,7	29,3	383,6	122,7	307,4	44,1	80,8	226,8	56,6	52,3	0,0	1318,6
2010/2011	0,0	0,0	11,1	117,4	147,8	225,7	149,5	34,5	294,0	52,6	3,6	0,0	1036,2
2011/2012	0,0	0,0	0,0	145,2	263,4	407,8	177,8	11,5	61,9	0,7	11,0	0,0	1079,3
2012/2013	0,0	0,0	5,7	8,7	432,5	57,2	219,8	30,5	103,3	72,7	0,0	0,0	930,4
2013/2014	0,0	0,0	28,4	33,2	158,2	424,5	68,4	31,1	95,7	7,6	0,7	0,0	847,8
2014/2015	0,6	0,0	0,0	74,9	232,9	87,4	17,9	222,1	137,8	83,3	6,2	0,0	863,1
Máximo	21,2	32,6	41,2	383,6	455,2	424,5	322,9	295,5	294,0	109,9	52,3	8,7	1535,3
Média	2,0	4,1	14,5	86,9	223,6	248,1	184,5	123,2	153,5	37,4	13,1	1,1	1091,9
Mínimo	0,0	0,0	0,0	1,1	71,2	57,2	17,9	11,5	13,0	0,7	0,0	0,0	835,7
S	5,2	8,3	14,4	85,1	110,8	96,5	100,7	91,5	72,0	32,8	18,2	2,5	206,4

Fonte: ANA, 2018. Elaborado pelos autores.

Tabela 7 – Série histórica dada Estação 6 (mm).

Ano	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Anual
1995/1996	0,0	0,0	0,0	113,6	178,6	398,7	76,8	86,4	108,0	35,5	44,4	0,0	1042,0
1996/1997	0,4	0,0	5,8	87,4	268,1	92,5	217,3	67,5	228,0	75,3	18,9	19,7	1080,9
1997/1998	0,0	0,0	8,6	54,2	125,8	201,0	171,0	207,8	37,1	30,3	41,6	0,0	877,4
1998/1999	0,0	8,1	0,0	100,0	194,4	232,3	324,0	104,4	289,5	1,6	0,0	0,0	1254,3
1999/2000	0,0	0,0	8,6	102,1	273,5	173,9	206,3	134,6	285,9	40,5	0,0	0,0	1225,4
2000/2001	19,5	25,6	50,8	43,4	375,4	206,0	49,8	15,5	68,3	35,0	31,2	2,5	923,0
2001/2002	2,0	21,5	12,3	85,2	333,7	267,7	162,5	214,2	151,0	0,3	8,4	0,3	1259,1
2002/2003	13,1	1,0	15,3	22,7	69,7	247,2	411,2	57,0	244,5	11,7	99,9	0,0	1195,4
2003/2004	0,0	5,6	5,9	74,7	131,9	138,1	231,8	269,9	199,2	208,0	0,0	1,8	1266,9
2004/2005	3,0	0,0	0,0	25,6	51,9	423,8	261,8	144,5	192,7	7,7	5,6	10,6	1127,2
2005/2006	0,3	0,0	24,6	1,7	355,9	342,7	69,7	91,7	273,3	113,3	2,0	0,0	1275,2
2006/2007	0,5	4,0	32,7	239,5	298,7	302,8	291,3	337,2	21,6	57,5	2,5	0,0	1588,3
2007/2008	0,0	0,0	6,4	12,3	102,7	114,9	282,6	126,7	362,9	28,0	2,7	0,0	1039,2
2008/2009	0,0	0,0	6,7	1,3	162,6	361,2	208,2	80,8	221,8	148,8	2,3	7,5	1201,2
2009/2010	0,0	49,5	45,4	141,0	76,4	194,4	32,9	33,0	238,9	112,5	14,0	1,2	939,2
2010/2011	0,0	0,0	3,8	170,7	195,7	250,0	174,7	56,9	384,3	54,5	0,0	0,0	1290,6
2011/2012	0,0	0,0	0,0	168,1	157,1	555,0	165,4	62,7	67,9	7,2	27,5	0,0	1210,9
2012/2013	0,0	0,0	10,1	40,6	312,5	98,2	278,5	37,1	181,3	83,9	9,8	12,9	1064,9
2013/2014	0,0	0,0	31,0	42,8	128,7	462,3	79,5	57,7	53,3	52,6	0,4	0,0	908,3
2014/2015	6,0	0,0	0,0	23,7	125,5	292,1	48,6	137,7	278,9	73,4	41,1	0,0	1027,0
Máximo	19,5	49,5	50,8	239,5	375,4	555,0	411,2	337,2	384,3	208,0	99,9	19,7	1588,3
Média	2,2	5,8	13,4	77,5	195,9	267,7	187,2	116,2	194,4	58,9	17,7	2,8	1139,8
Mínimo	0,0	0,0	0,0	1,3	51,9	92,5	32,9	15,5	21,6	0,3	0,0	0,0	877,4
S	5,1	12,6	15,4	64,2	100,8	126,1	104,5	84,0	107,0	53,7	25,2	5,5	171,1

Fonte: ANA, 2018. Elaborado pelos autores.

Tabela 8 – Série histórica dada Estação 7 (mm).

Ano	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Anual
1995/1996	0,0	0,0	0,0	61,1	180,3	327,0	137,1	95,1	86,0	94,1	8,2	0,0	988,9
1996/1997	0,0	8,5	10,1	22,5	300,0	218,1	216,5	109,3	233,0	150,6	64,2	24,9	1357,7
1997/1998	0,0	0,0	17,7	52,8	98,2	251,7	260,2	97,2	31,6	56,8	20,3	0,0	886,5
1998/1999	0,0	14,5	0,0	91,1	280,2	311,3	57,3	171,7	313,1	19,7	33,7	0,0	1292,6
1999/2000	0,0	0,0	50,6	93,8	204,1	349,0	187,5	126,5	320,8	25,7	0,0	0,0	1358,0
2000/2001	0,0	24,5	84,4	73,8	121,4	259,1	63,6	26,7	72,5	6,0	19,0	23,5	774,5
2001/2002	0,0	54,0	46,6	61,9	324,6	292,3	151,4	258,7	149,5	7,9	16,5	0,0	1363,4
2002/2003	1,8	0,0	22,3	37,4	91,2	388,6	366,6	104,2	218,9	35,6	36,1	0,0	1302,7
2003/2004	0,0	34,6	11,1	54,9	151,2	142,2	380,3	587,0	183,0	147,6	8,7	0,0	1700,6
2004/2005	9,5	0,0	0,0	84,1	96,6	428,6	305,1	326,3	333,5	77,1	0,0	12,2	1673,0
2005/2006	0,0	0,0	30,0	6,5	249,9	412,6	110,4	171,0	244,2	109,8	21,0	0,0	1355,4
2006/2007	0,0	11,0	57,2	155,6	183,2	474,2	425,4	259,3	46,0	42,3	0,0	0,0	1654,2
2007/2008	0,0	0,0	0,0	25,6	131,5	217,1	177,5	234,2	196,9	93,5	0,0	0,0	1076,3
2008/2009	0,0	0,0	63,4	13,9	145,9	545,6	373,2	200,5	108,7	115,8	2,7	26,6	1596,3
2009/2010	0,0	31,0	52,4	157,2	107,5	453,4	124,3	111,8	241,1	168,7	19,5	0,0	1466,9
2010/2011	0,0	0,0	31,1	111,6	313,5	299,1	382,6	103,6	487,4	28,6	8,2	0,0	1765,7
2011/2012	0,0	0,0	0,0	158,7	247,9	477,3	184,1	68,4	161,0	23,5	39,1	0,0	1360,0
2012/2013	0,0	0,0	15,3	4,9	433,0	168,3	438,5	91,8	203,7	202,8	18,5	22,8	1599,6
2013/2014	0,0	0,0	23,3	109,9	178,1	259,5	122,9	67,8	185,5	132,9	0,0	0,0	1079,9
2014/2015	6,0	0,0	16,8	7,7	244,1	177,3	46,4	272,6	252,5	97,6	12,0	0,0	1133,0
Máximo	9,5	54,0	84,4	158,7	433,0	545,6	438,5	587,0	487,4	202,8	64,2	26,6	1765,7
Média	0,9	8,9	26,6	69,3	204,1	322,6	225,5	174,2	203,4	81,8	16,4	5,5	1339,3
Mínimo	0,0	0,0	0,0	4,9	91,2	142,2	46,4	26,7	31,6	6,0	0,0	0,0	774,5
S	2,5	15,4	24,8	50,6	93,0	115,2	130,3	126,8	109,9	58,5	16,7	10,1	281,4

Fonte: ANA, 2018. Elaborado pelos autores.

O método de Dupla Massa foi empregado com o objetivo de avaliar a consistência dos dados das seis estações de apoio em relação a Estação 3, através da metodologia sugerida por Bertoni e Tucci (2002) e aplicada por Wissmann et al. (2006), Endo et al. (2007) e Carvalho e Ruiz (2016), através da construção de gráficos de dispersão que apresentam os valores correspondentes aos totais acumulados de precipitação entre 1995/1996 e 2014/2015 para cada mês e, também, para os totais anuais. Nesses gráficos são plotados os valores acumulados da estação a corrigir (eixo das ordenadas) e da média dos valores acumulados nas estações de apoio (eixo das abscissas), as quais devem ter a mesma escala em cada eixo. A Tabela 9 exemplifica a metodologia proposta por Bertoni e Tucci (2002) para organização dos dados de chuva do mês de janeiro para confecção do gráfico de curva de Dupla Massa.

**Tabela 9 – Volumes pluviométricos para o mês de janeiro:
total acumulado e média acumulada.**

Ano	Estação a corrigir		Estações de Apoio							
	Est. 3	Σ	Est. 1	Est. 2	Est. 4	Est. 5	Est. 6	Est. 7	Σ	
1995/1996	35,3	35,3	22,1	42,3	86,6	64,8	76,8	137,1	71,6	71,6
1996/1997	262,6	297,9	169,2	204,8	296,4	277,8	217,3	216,5	230,3	302,0
1997/1998	266,1	564,0	228,7	194,3	296,8	182,1	171,0	260,2	222,2	524,1
1998/1999	135,6	699,6	152,6	128,6	91,0	198,3	324,0	57,3	158,6	682,8
1999/2000	230	929,6	249,8	243,9	176,9	224,2	206,3	187,5	214,8	897,5
2000/2001	32,5	962,1	25,6	125,1	52,6	77,6	49,8	63,6	65,7	963,3
2001/2002	127,8	1.089,9	219,3	312,9	148	223,4	162,5	151,4	202,9	1.166,2
2002/2003	232,5	1.322,4	244,9	248	289	318,1	411,2	366,6	313,0	1.479,1
2003/2004	223,3	1.545,7	336,7	162,8	534,4	312,7	231,8	380,3	326,5	1.805,6
2004/2005	207,0	1.752,7	163,8	269,4	288,4	322,9	261,8	305,1	268,6	2.074,2
2005/2006	69,0	1.821,7	65,6	3,9	167,2	47,5	69,7	110,4	77,4	2.151,5
2006/2007	259,9	2.081,6	207,0	141,2	205,7	266,8	291,3	425,4	256,2	2.407,8
2007/2008	203,0	2.284,6	112,2	120,8	258,1	199,4	282,6	177,5	191,8	2.599,5
2008/2009	300,6	2.585,2	264,8	284,4	243,7	296,0	208,2	373,2	278,4	2.877,9
2009/2010	116,4	2.701,6	72,3	100,9	124,7	44,1	32,9	124,3	83,2	2.961,1
2010/2011	257,6	2.959,2	204,8	252,5	296,2	149,5	174,7	382,6	243,4	3.204,5
2011/2012	92,6	3.051,8	77,4	89,4	188,3	177,8	165,4	184,1	147,1	3.351,6
2012/2013	365,7	3.417,5	297	146,5	318,1	219,8	278,5	438,5	283,1	3.634,6
2013/2014	75,1	3.492,6	63,5	62,1	94,0	68,4	79,5	122,9	81,7	3.716,4
2014/2015	43,0	3.535,6	37,3	94,6	52,0	17,9	48,6	46,4	49,5	3.765,8

Fonte: ANA, 2018. Elaborado pelos autores.

A dispersão dos valores acumulados de chuva nos gráficos de Dupla Massa foi avaliada através da definição da reta de tendência entre os pontos plotados, com o objetivo de verificar como a distribuição dos valores é proporcional ao longo do tempo. Também foi calculado o coeficiente de determinação (R^2) dos conjuntos de dados, possibilitando definir a variação total dos pares de valores acumulados (valores mais próximos de 1 indicam maior representatividade dos volumes pluviométricos entre as estações a corrigir e as de apoio).

Após validação da consistência dos dados entre as estações, foram calculadas as estimativas de precipitação para preenchimento das falhas nas escalas mensal e anual, conforme as propostas de Bertoni e Tucci (2002), Oliveira et al. (2010), Mello et al. (2017) e Junqueira et al. (2018). Como os dados não apresentam falhas, foi adotado como critério a retirada de um mês ou ano da série histórica da Estação 3, com o intuito de estimar a pluviosidade de acordo com cada uma das quatro técnicas para esse período. Com isso foi possível mensurar o desvio relativo entre os valores estimados e o dado real, buscando identificar qual técnica colocou-se mais próxima da realidade.

A seguir serão apresentadas as características e a descrição dos procedimentos e etapas para o cálculo das estimativas de cada técnica. Com o intuito de exemplificar as etapas de cálculo foi utilizado o mês de janeiro do ano de

2004/2005 (207,0 mm) da Estação 3.

O método da Média Aritmética (M.A.) é a técnica mais simples dentre as utilizadas neste artigo, que consiste na soma dos valores de precipitação das estações adjacentes ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) dividido pelo total de estações (n) e observado na Equação 1:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad \text{Equação 1}$$

Tomando como base os valores de precipitação mensal de janeiro de 2004/2005 das estações de apoio (Tabelas 3 a 8) e aplicando esses valores na Equação 1 chega-se ao resultado que se segue:

$$\bar{x} = \frac{163,8 + 269,4 + 288,4 + 322,9 + 261,8 + 305,1}{6} = \frac{1611,4}{6}$$

A Ponderação Regional (P.R.) utiliza estações de apoio próximas a estação a ser corrigida, as quais necessitam pertencer a uma região climática semelhante. A equação para correção da falha por essa técnica é dada pela Equação 2:

$$y_c = \frac{1}{n} \left(\frac{x_1}{x_{m_1}} + \frac{x_2}{x_{m_2}} + \frac{x_3}{x_{m_3}} + \dots + \frac{x_n}{x_{m_n}} \right) y_m \quad \text{Equação 2}$$

onde y_c = precipitação da estação a ser estimada (mm); n = o número de estações; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ = precipitações observadas nas estações vizinhas, correspondentes ao mês/ano que se deseja preencher; $x_{m_1}, x_{m_2}, x_{m_3}, \dots, x_{m_n}$ = médias mensais das precipitações das estações próximas de acordo o mês que está sendo corrigido; e y_m = precipitação média do posto. Na sequência, a estimativa obtida para janeiro do ano de 2004/2005 pela técnica de P.R.:

$$y_c = \frac{1}{6} * \left(\frac{163,8}{160,7} + \frac{269,4}{161,4} + \frac{288,4}{210,4} + \frac{322,9}{184,5} + \frac{261,8}{187,2} + \frac{305,1}{225,5} \right) * 175,2$$
$$y_c = \frac{1}{6} * (8,56) * 175,2 = 1,427 * 175,2$$
$$y_c = 250,0 \text{ mm ou } \Delta = 27,8\% \text{ em relação ao dado real}$$

A Regressão Linear Múltipla (R.L.M.) utiliza as informações pluviométricas do posto que pretende ser corrigido ao correlacioná-lo estatisticamente com as observações das estações vizinhas, utilizando o modelo regressivo exposto da Equação 3:

$$y_c = a_1 \cdot x_1 i + a_2 \cdot x_2 i + a_3 \cdot x_3 i + \dots + a_n \cdot x_n i + a_0 \quad \text{Equação 3}$$

em que, y_c = precipitação da estação a ser estimada (mm); n = o número de estações; $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ = coeficientes estimados de precipitação de cada estação; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ = as observações de precipitação registradas nas estações de apoio; e a_0 = constante de regressão. O procedimento de cálculo pela R.L.M é o que se verifica na sequência:

$$y_c = (163,8 * 0,3754) + (269,4 * 0,1700) + (288,4 * 0,0531) + (322,9 * -0,2111) + (261,8 * 0,2321) + (305,1 * 0,3356) + (-1,9459)$$

$$y_c = (61,5) + (45,8) + (15,3) + (-68,2) + (60,8) + (102,4) - 1,9459$$

$$y_c = 215,7 \text{ mm ou } \Delta = 4,2\% \text{ em relação ao dado real}$$

A Ponderação Regional com Base em Regressões Lineares (P.R.B.R.L.) visa estabelecer regressões lineares entre a estação com dados a serem preenchidos (y) e cada estação de apoio ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$). A partir das regressões lineares, obtém-se os coeficientes de correlação entre a estação a ser corrigida e as estações de apoio, definindo os fatores de peso de modo individual para cada estação de apoio, como pode ser observado na Equação 4.

$$W_{xj} = \frac{r_{yxj}}{(r_{yx1} + r_{yx2} + r_{yx3} + \dots + r_{yxn})} \quad \text{Equação 4}$$

sendo, W_{xj} = fator de peso entre os postos y e x_j ; n = o número de estações consideradas; e r_{xyj} = corresponde ao coeficiente de correlação entre as estações. Os cálculos dos fatores de peso das estações de apoio são exemplificados pelo seguinte procedimento algébrico:

$$W_{x1} = \frac{0,8644}{(0,8644 + 0,6115 + 0,7275 + 0,7615 + 0,6797 + 0,8485)} = \frac{0,8644}{4,4931} = 0,1924$$

$$W_{x2} = \frac{0,6115}{(0,8644 + 0,6115 + 0,7275 + 0,7615 + 0,6797 + 0,8485)} = \frac{0,6115}{4,4931} = 0,1361$$

$$W_{x4} = \frac{0,7275}{(0,8644 + 0,6115 + 0,7275 + 0,7615 + 0,6797 + 0,8485)} = \frac{0,7275}{4,4931} = 0,1619$$

$$W_{x5} = \frac{0,7615}{(0,8644 + 0,6115 + 0,7275 + 0,7615 + 0,6797 + 0,8485)} = \frac{0,7615}{4,4931} = 0,1695$$

$$W_{x6} = \frac{0,6797}{(0,8644 + 0,6115 + 0,7275 + 0,7615 + 0,6797 + 0,8485)} = \frac{0,6797}{4,4931} = 0,1513$$

$$W_{x7} = \frac{0,8485}{(0,8644 + 0,6115 + 0,7275 + 0,7615 + 0,6797 + 0,8485)} = \frac{0,8485}{4,4931} = 0,1888$$

A soma dos fatores de peso é a unidade utilizada na multiplicação do valor de precipitação observado nas estações de apoio, a qual deverá ser utilizada para preencher a correção no posto y , como pode ser observado na Equação 5.

$$y_c = x_1 W_{x1} + x_2 W_{x2} + x_3 W_{x3} + \dots + x_n W_{xn} \quad \text{Equação 5}$$

onde, y_c = precipitação da estação a ser estimada (mm); n = o número de estações consideradas; e x_1, \dots, x_n = as observações registradas nas estações de apoio.

Com base nos cálculos realizados em conformidade com a Equação 4, foi obtida a estimativa de precipitação pela técnica de PRBRL para janeiro de 2004/2005 da Estação 3:

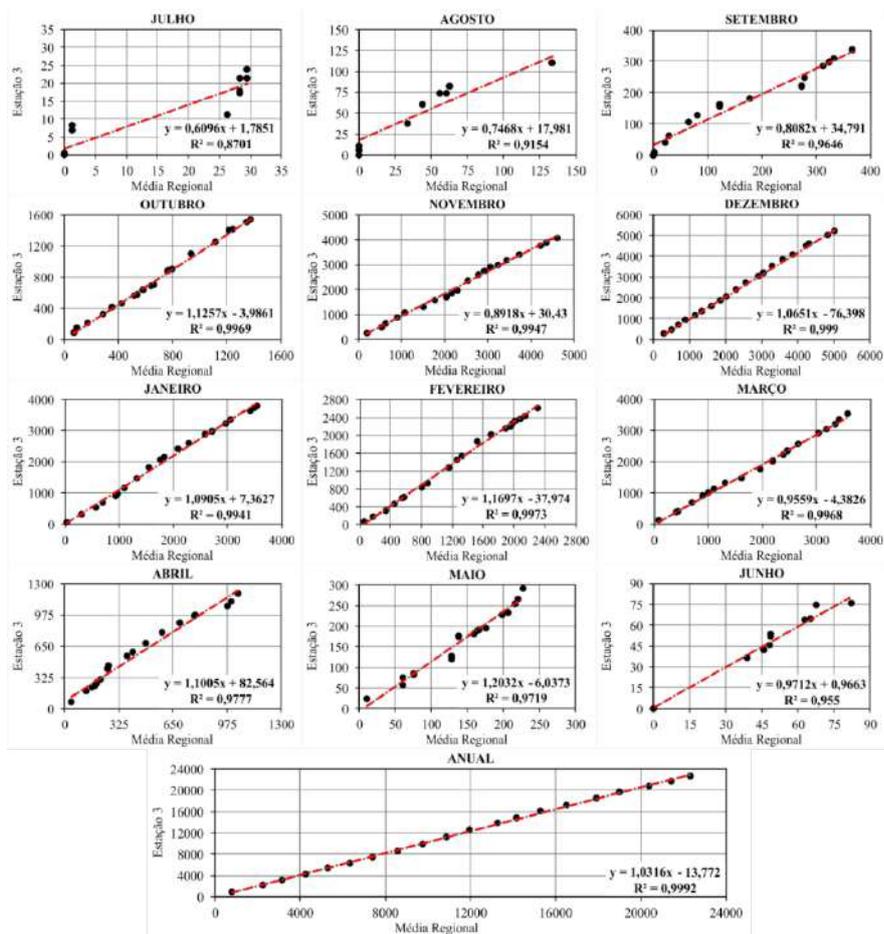
$$y_c = (163,8 * 0,1924) + (267,4 * 0,1361) + (288,4 * 0,1619) + (322,9 * 0,1695) + (261,8 * 0,1513) + (305,1 * 0,1888)$$
$$y_c = (31,51) + (36,67) + (46,69) + (54,73) + (39,60) + (57,62)$$
$$y_c = 266,8 \text{ mm ou } \Delta = 28,9\% \text{ em relação ao dado real}$$

Diante das técnicas abordadas e do método de avaliação de desempenho, foram calculadas 1040 estimativas de precipitação para Estação 3 (a série histórica possui o total de 240 meses e mais 20 anos, totalizando 260 estimativas de correção para cada técnica).

Resultados e discussão

A Figura 2 apresenta as curvas de dupla massa nas escalas mensal e anual. Constata-se que a dispersão dos valores acumulados de chuva e dos R^2 dos meses de outubro a março (correspondentes a maior parte do período chuvoso) e do total anual apresentaram, respectivamente, comportamento linear e com valores de R^2 muito próximos de 1. Esse fato demonstra a homogeneidade temporal dos dados de pluviosidade, além de confirmar que não há inconsistências entre os acumulados da estação 3 e a média das estações de apoio.

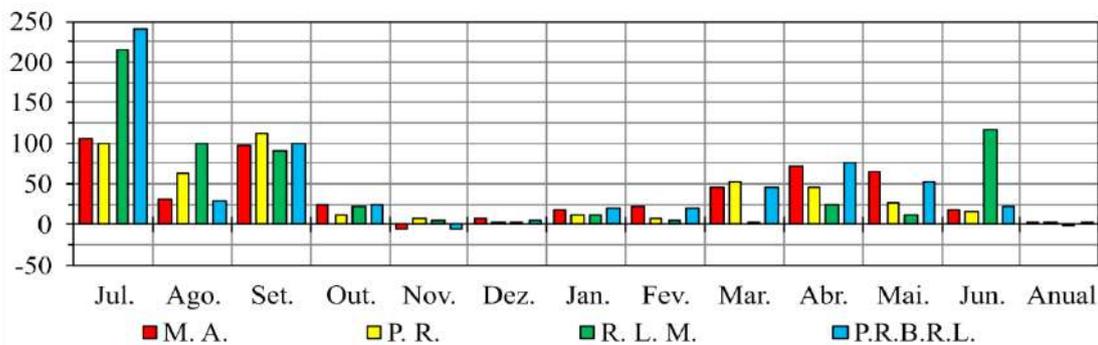
Porém, a transição do período seco até a sua culminância (abril a setembro) representou maior dispersão dos acumulados de chuva e menores valores de R^2 . Esse fato é explicado pelas características pluviométricas habituais (baixíssima precipitação) e excepcionais (precipitação acima da normalidade para o período de estiagem) que condicionam fortemente o comportamento dos pontos plotados, pois volumes pluviais mais expressivos no decorrer do período seco acabam resultando em anomalias que se manifestam de modo desproporcional entre as estações avaliadas. Esse fato pode ser observado, principalmente, nos totais mensurados entre os meses de junho e agosto da Estação 3, que acumularam, respectivamente, 82,1 mm, 29,5 mm e 180,7 mm de chuva ao longo de 20 anos.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 2 - Curvas das duplas massas para validação da consistência das séries históricas (mm).

De posse das estimativas de precipitação realizadas para cada técnica, foi calculada a média dos seus desvios nas escalas mensal e anual em relação ao dado real (Figura 3). Verifica-se que os maiores desvios ficaram concentrados entre os meses de março e setembro, correspondentes ao período mais seco e suas transições.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 3 – Desvio médio entre os dados estimados e os dados reais (%).

A Figura 4 apresenta o comportamento das curvas de precipitação real

e estimadas para cada um dos meses e para os totais anuais. Quanto mais próximas as linhas coloridas (estimativas) estiverem da linha preta (dado real), melhor foi o resultado obtido.

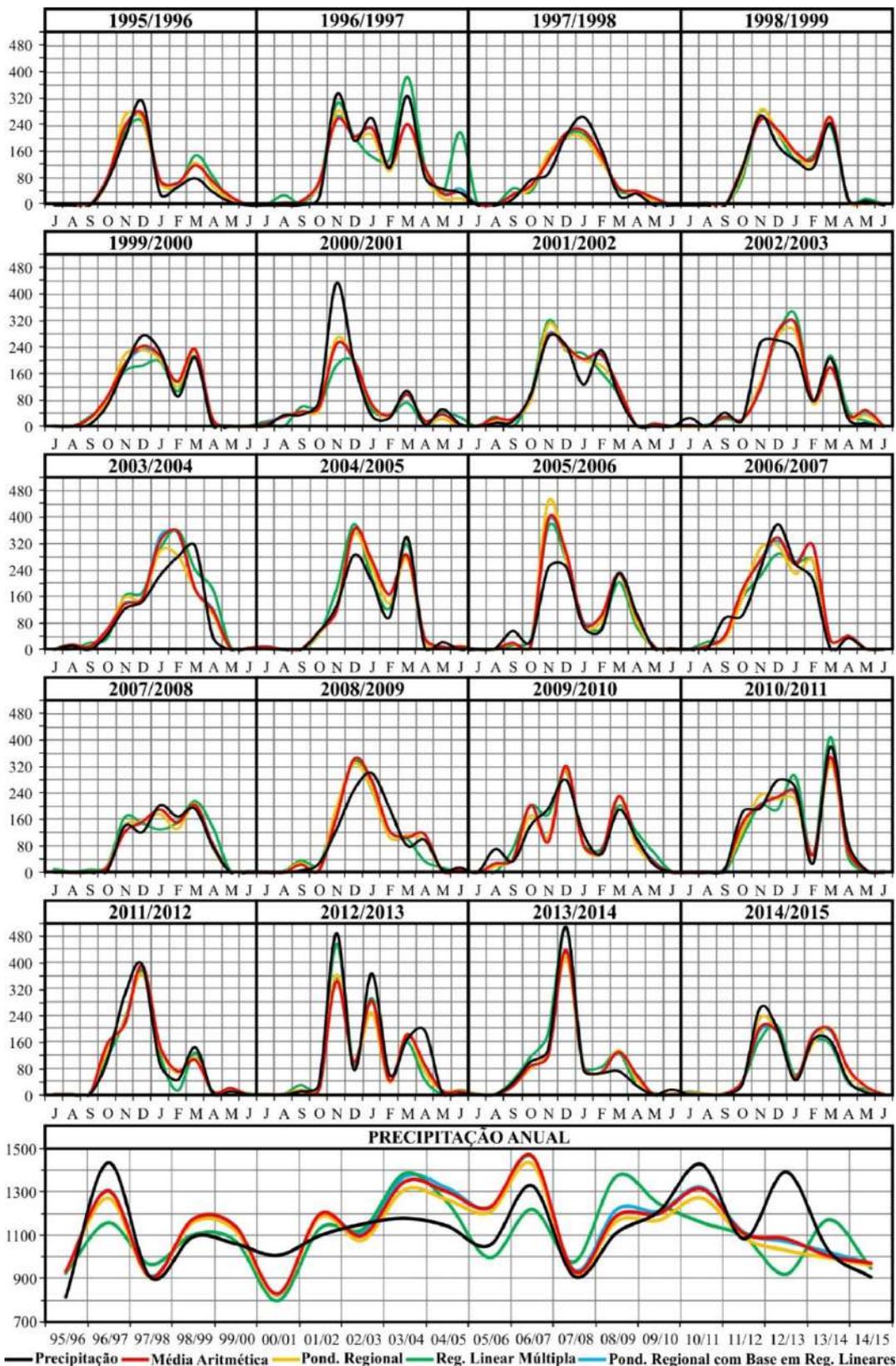
Verifica-se que grande parte dos valores estimados ficou próximo em relação aos dados reais. Porém, a variabilidade do ritmo pluvial apresentou anomalias nos diferentes meses/anos e influenciou as estimativas, como pode ser exemplificado no Quadro 1, que apresenta a quantidade de técnicas por mês/ano que tiveram estimativas superestimadas (acima de 30%) ou subestimadas (abaixo -30%) em relação ao dado real.

Quadro 1 – Total de estimativas com desvio maior que 30% ou menor -30% em relação ao dado real.

Ano	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Anual
1995/1996	-	-	-	-	1	-	4*	-	4*	4	3	-	-
1996/1997	-	-	4*	4*	-	-	1	-	-	2*	3*	2*	-
1997/1998	-	-	4	2	4*	-	-	-	4*	-	-	-	-
1998/1999	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3*	3	-	-
1999/2000	-	-	4*	2	-	1	-	3	-	4*	-	-	-
2000/2001	2	1*	1*	1	4*	-	4*	-	1	3*	3*	2*	-
2001/2002	3	4*	4	-	-	-	4	-	-	2*	-	-	-
2002/2003	-	-	3*	-	4	-	3	-	-	4*	4	-	-
2003/2004	1	1*	-	-	1	-	4	-	3*	4	-	2	-
2004/2005	-	-	-	-	1	1	-	3	-	4*	4*	-	-
2005/2006	3	4	4*	3*	4	-	-	3*	-	1*	4*	-	-
2006/2007	3	4*	4*	4	-	-	-	2*	4*	-	4*	-	-
2007/2008	-	-	-	4*	-	-	1	-	-	1	-	-	-
2008/2009	-	-	4*	3*	4	4	-	4*	3*	1*	4	2*	-
2009/2010	4	4*	1*	3*	3	-	1	-	-	-	3*	4	-
2010/2011	-	-	1	2*	-	1	-	4*	-	2*	4	-	-
2011/2012	-	-	-	3	-	-	3	4*	-	4*	4	-	-
2012/2013	-	-	1	4*	-	1	1*	3	-	4*	4*	4	1
2013/2014	-	-	-	-	1	-	-	-	4*	3	-	4*	-
2014/2015	-	-	-	1*	1	-	1*	-	-	3	4	-	-

Fonte: Elaborado pelos autores

*Dado real com desvio superior a 50% ou inferior a -50% em relação à média histórica mensal/anual



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 4 – Precipitação real e estimada (mm) nas escalas mensal e anual.

Verifica-se que nos meses de transição dos períodos seco para chuvoso (setembro e outubro) e chuvoso para o seco (abril e maio) ocorreram a maior quantidade de desvios em relação aos dados estimados. Esse fato fica explícito nos elevados coeficientes de variação (C.V.) de setembro (136%), outubro (67%), abril

(94%) e maio (137%) da Estação 3, os quais refletem a intensidade da irregularidade interanual do ritmo pluvial.

Em oposição, o período compreendido entre os meses de novembro e março apresentou menores desvios das estimativas, com exceção dos meses em que as anomalias reais de chuva da Estação 3 foram acentuados em relação à sua média histórica (meses com *) e também aos totais precipitados nos mesmos períodos nas estações de apoio, fruto das características ligadas aos fatores estáticos e dinâmicos do clima de cada estação. O destaque fica por conta das estimativas dos totais anuais, que resultaram em desvios entre -15% e 15%, com exceção dos anos 2000/2001 e 2012/2013, (-17,4% e -22,1%, respectivamente).

Ao avaliar quais técnicas alcançaram menor desvio em relação ao dado real (Quadro 2), é possível verificar que nos meses de junho a setembro (período mais seco) não foi possível determinar qual método de correção obteve melhor resultado, pois a baixíssima ou total ausência de pluviosidade (Tabelas 2 a 8) propiciou que mais de uma técnica conseguisse estimar de forma correta (ou mais próxima possível) os totais pluviais. Em seguida, nota-se que a P.R. (julho e agosto), a M.A. (junho e julho) e P.R.B.R.L. (setembro) foram as técnicas que alcançaram o segundo menor desvio em relação ao dado real.

Quadro 2 – Resumo mensal e anual das técnicas de correção de falhas com melhor desempenho.

Técnica	Jul.		Ago.		Set.		Out.		Nov.		Dez.		Jan.		Fev.		Mar.		Abr.		Mai.		Jun.		Anual	
	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%	Σ	%
M.A.	3	15	1	5	4	20	3	15	4	20	8	40	3	15	3	15	1	5	3	15	-	-	3	15	2	10
P.R.	3	15	4	20	3	15	6	30	6	30	2	10	6	30	7	35	1	5	7	35	4	20	2	10	5	25
R.L.M.	2	10	1	5	3	15	9	45	8	40	10	50	7	35	9	45	14	70	9	45	12	60	1	5	9	45
P.R.B.R.L.	2	10	1	5	5	25	2	10	2	10	-	-	4	20	1	5	4	20	1	5	3	15	5	25	4	20
Inde finido	10	50	13	65	5	25	-	-	-	-	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	5	9	45	-	-
Total	20	100	20	100	20	100	20	100	20	100	20	100	20	100	20	100	20	100	20	100	20	100	20	100	20	100

Fonte: Elaborado pelos autores

Já a R.L.M. foi a técnica que obteve o melhor desempenho entre outubro e maio (97,3% da média pluvial anual) e nos dados anuais. A M.A. (dezembro), a P.R.B.R.L. (março) e a P.R. (outubro, novembro, janeiro, fevereiro, abril e anual) apresentaram o segundo menor desvio. O detalhamento dos resultados do Quadro 2 são demonstrados nos Quadros 3 e 4, que apresentam de forma individualizada os resultados para as técnicas com melhor desempenho.

Quadro 3 - Melhor desempenho da precipitação mensal estimada (mm)

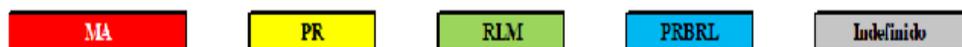
Ano	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Annual
1995/1996	0,0	0,0	0,0	71,6	220,0	272,8	67,0	57,3	117,9	55,6	10,1	0,0	921,3
1996/1997	0,0	4,6	4,2	64,3	304,7	204,0	230,3	115,4	385,4	92,2	36,5	36,5	1.308,2
1997/1998	0,0	0,0	29,8	57,8	132,1	214,1	224,0	148,6	42,6	35,1	0,0	0,0	905,2
1998/1999	0,0	0,0	0,0	114,1	282,2	215,1	135,1	123,3	255,5	13,2	17,7	0,0	1.100,4
1999/2000	0,0	0,0	22,2	78,9	186,2	242,8	214,8	106,0	211,9	0,0	0,7	0,0	1.072,6
2000/2001	6,1	31,8	43,6	61,2	266,7	195,3	51,3	31,2	100,8	8,3	44,0	5,6	831,7
2001/2002	0,0	21,1	21,1	97,5	274,1	240,5	202,0	219,1	96,3	3,6	5,5	0,0	1.130,4
2002/2003	3,5	0,7	31,7	19,2	128,1	274,8	289,2	77,5	214,4	30,4	15,6	0,0	1.126,1
2003/2004	0,0	11,6	6,3	52,0	135,4	152,7	208,2	285,3	239,9	107,4	1,1	3,0	1.312,1
2004/2005	0,0	0,0	0,0	52,7	132,3	349,9	215,7	121,8	317,7	22,1	5,8	0,0	1.219,7
2005/2006	0,0	0,0	19,5	25,1	308,8	272,8	71,3	61,3	229,2	102,4	5,6	1,5	995,2
2006/2007	0,5	7,9	38,9	153,8	261,3	337,4	260,1	265,3	0,0	36,9	1,5	0,0	1.432,1
2007/2008	2,8	0,0	1,6	15,9	142,6	148,6	191,8	152,5	204,0	73,3	0,3	0,0	925,8
2008/2009	0,0	0,2	24,5	24,0	168,5	330,2	280,4	127,7	100,3	96,7	5,9	10,4	1.166,3
2009/2010	0,1	28,5	39,9	171,9	174,6	307,1	85,6	51,6	202,3	102,1	25,2	0,7	1.211,7
2010/2011	0,0	0,0	11,2	149,1	203,0	230,0	244,9	50,0	412,0	66,8	5,8	0,1	1.322,1
2011/2012	0,0	0,0	0,0	108,3	224,2	392,0	118,8	64,1	125,2	7,0	13,1	0,2	1.085,6
2012/2013	0,0	0,0	10,6	16,2	455,5	88,6	290,5	43,2	176,5	90,9	0,0	9,3	1.084,2
2013/2014	0,0	0,0	41,2	87,8	135,8	504,5	77,9	66,3	125,0	27,1	0,1	0,9	1.022,6
2014/2015	2,3	0,0	0,0	36,7	230,6	189,2	47,7	158,6	149,3	34,1	14,6	0,0	947,3
Média	0,8	5,3	17,3	72,9	221,4	258,1	179,8	116,5	185,4	50,3	10,5	3,4	1.107,5

MA	PR	RLM	PRMRL	Indefinido
----	----	-----	-------	------------

Fonte: Elaborado pelos autores

Quadro 4 – Desvio da precipitação mensal estimada em relação ao dado real (%).

Ano	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Anual
1995/1996	-	-	-	-2,2	7,9	-12,5	89,8	0,0	43,8	38,7	-5,6	-	13,1
1996/1997	-	-	223,1	160,3	-9,0	4,4	-12,3	2,3	17,0	7,5	-27,4	-5,4	-8,9
1997/1998	-	-	43,3	-24,4	36,3	1,4	-15,8	-11,5	41,1	-1,1	-	-	0,0
1998/1999	-	-	-	0,0	4,6	19,2	-0,1	7,7	3,9	-26,7	26,4	-	0,7
1999/2000	-	-	241,5	23,5	3,8	-12,0	-6,6	16,7	0,8	-100,0	-	-	1,1
2000/2001	369,2	-4,5	23,9	-18,0	-39,0	0,9	57,8	23,3	-6,9	29,7	-16,3	-20,0	-17,4
2001/2002	-	97,2	31,1	1,6	1,0	-2,7	58,1	-5,8	3,8	0,0	-	-	2,9
2002/2003	-86,0	-	-24,7	1,1	-49,4	4,7	24,4	0,3	3,6	34,5	60,8	-	-2,2
2003/2004	-	-1,7	-	15,6	11,1	5,4	33,5	2,3	-23,0	181,2	-	11,1	11,3
2004/2005	-100,0	-	-	-0,4	1,5	22,6	4,2	25,2	-6,3	210,0	-71,0	-100,0	9,4
2005/2006	-	-100,0	-65,4	5,8	50,0	8,9	3,3	6,6	-0,7	-7,2	36,6	-	-5,5
2006/2007	-	243,5	-59,0	49,2	8,6	-10,6	0,1	26,3	-100,0	5,4	-34,8	-	7,8
2007/2008	-	-	-	297,5	1,7	21,7	-5,5	-10,0	6,1	-6,3	-	-	1,8
2008/2009	-	-	308,3	-9,4	30,0	32,1	-6,7	-34,5	22,8	-2,0	-34,4	-28,3	4,9
2009/2010	-91,7	-59,9	18,4	21,1	-9,5	9,5	-26,5	0,2	6,8	-1,9	9,6	-68,2	0,1
2010/2011	-	-	12,0	-17,9	4,9	-17,7	-4,9	84,5	7,9	-24,4	-30,1	-	-7,4
2011/2012	-	-	-	8,1	-25,1	0,3	28,3	46,3	-12,2	32,1	42,4	-	0,2
2012/2013	-	-	11,6	-43,2	-6,6	19,9	-20,6	-28,9	6,1	-52,9	-100,0	304,3	-22,1
2013/2014	-	-	17,4	-11,4	-0,1	-0,5	3,7	2,2	79,3	0,0	-	-93,9	-0,6
2014/2015	-	-	-	17,3	-11,5	-3,5	10,9	-3,9	-8,0	-18,4	131,7	-	4,5
Média	-48,1	-20,4	-5,8	5,7	-4,3	2,5	1,7	1,1	3,6	-3,6	-7,5	-16,8	-0,8



Fonte: Elaborado pelos autores

A partir do cálculo do coeficiente de correlação (Tabela 10) entre os dados reais (Tabela 2) e estimados (Quadros 3), constata-se que os resultados aferidos ficaram acima de 0,8 para quase todos os períodos analisados, com exceção dos meses de julho e setembro, demonstrando a qualidade dos modelos de estimativa de correção de falhas de precipitação.

Tabela 10 – Correlação de Pearson entre os dados reais e estimados com melhor desempenho.

	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Anual
Coef. de Correlação	0,42	0,84	0,74	0,91	0,81	0,94	0,92	0,96	0,97	0,80	0,92	0,92	0,80

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em síntese, esse artigo possibilitou evidenciar que a Regressão Linear Múltipla foi a técnica mais adequada para correção de falhas de pluviosidade no contexto estabelecido pelas estações pluviométricas selecionadas e no recorte temporal definido. Esses resultados foram corroborados pelos trabalhos desenvolvidos por Oliveira et al. (2010), Mello et al. (2017) e Junqueira et al. (2018), que apontaram a Regressão Linear Múltipla como a técnica que melhor conseguiu estimar as falhas de pluviosidade

Conclusões

A consistência dos dados de chuva, através dos gráficos de Dupla Massa, foram fundamentais na definição de quais estações de apoio poderiam ser utilizadas para estimar os dados de precipitação da estação a ser corrigida.

Os maiores desvios percentuais ocorreram no período de seca, pois qualquer valor estimado que gerasse diferença de poucos milímetros de pluviosidade acabou resultando em valores relativos proporcionalmente discrepantes aos dados reais.

Os meses de transição entre os períodos chuvoso (setembro e outubro) e seco (abril e maio) apresentaram a maior quantidade absoluta de desvios significativos (acima de 30% ou abaixo de -30%), fruto da variabilidade temporal das chuvas que acabam antecipando ou prolongando a estiagem na região.

Esse aspecto também foi verificado no artigo de Silva et al. (2017) sobre a variabilidade das chuvas em Belo Horizonte, Sete Lagoas e Januária, aplicando a técnica Box Plot que divide a série temporal em quartis utilizando a mediana. Os valores caracterizados por fortes desvios em relação à média (excepcionalidades pluviais, estiagens prolongadas em período chuvoso, etc.) configuram-se em valores de ocorrência e variação errática, não apresentando padrão de distribuição espacial e temporal aparente, embora amplamente presente em qualquer série temporal e propício ao desencadeamento de impactos ambientais, conforme destacam Monteiro (1971) e Jardim (2012).

As estimativas com os menores desvios em relação aos dados reais foram referentes aos meses compreendidos pelo período chuvoso e pelos dados na escala anual, exceto nos momentos que ocorreram excepcionalidades pluviais (altos ou baixos volumes pluviais) concentradas em uma ou mais estações.

A definição da melhor técnica de correção de falhas de pluviosidade na escala mensal necessitou ser dividida em duas situações: no período chuvoso a Regressão Linear Múltipla foi preponderante, enquanto que no período seco não houve a prevalência de nenhuma técnica. Na escala anual a Regressão Linear Múltipla também obteve melhores resultados. Isso explica-se, em grande parte, pelas características dessa técnica, uma vez que a mesma avalia a relação entre as variáveis a partir de um diagrama de dispersão, cujos dados incluem aqueles mais recorrentes e os desvios, diferente das médias, de tendência central, que privilegia os mais recorrentes.

Referências bibliográficas

AB'SABER, A. *Os domínios de Natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

ANA. Agência Nacional de Águas. *Hidroweb: sistema de informações hidrológicas*. Disponível em: <www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 18 jan. 2018.

BELTRAME, A. V. *Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelos e aplicação*. Florianópolis: Editora da UFSC, 1994.

BERTONI, J. C., TUCCI, C. E. M. Precipitação. In. Tucci, C.E.M. (Org.).

Hidrologia: ciência e aplicação. 3 ed. Porto Alegre-RS: Editora da Universidade, ABRH, 2000.

BIER, A. A., FERRAZ, S. E. T. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas em dados meteorológicos para estações no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 2, p. 215-226, 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v32n2/0102-7786-rbmet-32-02-0215.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2018.

CARVALHO, H. P., RUIZ, M. V. S. Avaliação da consistência de séries históricas de chuva da bacia hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais. *Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 12, n. 6, p. 76-84, 2016. Disponível em: <http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/1480/1502>. Acesso em: 20 out. 2018.

ENDO, C. K., SAMPAIO, S. C., SUSZEK, M. Consistência de dados de precipitação da região oeste do estado do Paraná. *Revista Varia Scientia*, v. 7, n. 13, p. 95-100, 2007. Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/variascientia/article/view/2527>>. Acesso em: 20 out. 2018.

FERREIRA, M. C. *Introdução à análise geoespacial: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento*. São Paulo: Editora Unesp, 2014.

GARCÍA, F. F. *Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación*. Madrid: Editorial Síntesis, 1996.

JARDIM, C. H. “Médias” e “desvios” na análise geográfico-climatológica: o episódio de chuva concentrada do dia 23 de novembro de 2010 e o veranico de janeiro-fevereiro de 2011 em Belo Horizonte-MG. *Geografias (UFMG)*, v. 8, n. 2, p. 35-49, 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13328/10560>>. Acesso em: 20 out. 2018.

JUNQUEIRA, R., AMORIM, J. S., OLIVEIRA, A. S. Comparação entre diferentes metodologias para preenchimento de falhas em dados pluviométricos. *Sustentare*, v. 2, n. 1, p. 198-210, 2018. Disponível em: <http://periodicos.unincor.br/index.php/sustentare/article/view/4982/pdf_17>. Acesso em: 20 out. 2018.

MELLO, Y. R., KOHLS, W., OLIVEIRA, T. M. N. Uso de diferentes métodos para o preenchimento de falhas em estações pluviométricas. *Boletim de Geografia*, v. 35, n. 1, p. 112-121, 2017. Disponível em: <www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/30893>. Acesso em: 20 out. 2018.

MONTEIRO, C. A. F., 1971. Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. *Climatologia* 1, 1-25.

MONTEIRO, C. A. F., 1999. O estudo geográfico do clima. Florianópolis. *Cadernos Geográficos*, [online] 1. Disponível em: <<http://cadernosgeograficos.ufsc.br/files/2016/02/caderno-geografico-01.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2018.

NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=281099>>. Acesso em: 20 out. 2018.

OLIVEIRA, L. F. C., FIOREZE, P. A., MEDEIROS, A. M. M., SILVA, M. A. S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de

precipitação pluvial anual. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 11, p. 1186-1192, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n11/v14n11a08.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2018.

ROGERSON, P.A. *Métodos estatísticos para Geografia: um guia para o estudante*. 3ed. Porto Alegre-RS: Bookman, 2012.

SILVA, M.R., MOURA, F.P., JARDIM, C.H. O diagrama de caixa (box plot) aplicado à análise da distribuição temporal das chuvas em Januária, Belo Horizonte e Sete Lagoas, Minas Gerais-Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 10, n. 1, p. 23-40, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/download/233949/27420>>. Acesso em: 20 out. 2018.

SOARES, N. K. C., SILVA, C. A.. Comparação de metodologias para preenchimento de falhas em banco de dados pluviométricos: média aritmética x ponderação regional com base em regressão linear. In.: Perez FILHO, A., AMORIM, R.R. (Org.). *Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento*. Campinas: Instituto de Geociências-UNICAMP, 2017. Disponível em: <<https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2403/1644>>. Acesso em: 20 out. 2018.

SORRE, M. Objeto e método da climatologia, In: _____. *Traité de Climatologie Biologique et Médicale*. Paris: M. Piery Masson et Cie Éditeurs, 1934.

USGS. United States Geological Survey, 2018. *EarthExplorer*. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 18 out. 2018.

WISSMANN, J.A., TAMPELINI, L.G., Feil, A.C., SAMPAIO, S.C., SUSZEK, M. Ferramenta computacional para análise de consistência de dados pluviométricos. *Revista Varia Scientia*, v. 6, n. 11, p. 99-106, 2006. Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/variascientia/article/view/710/600>>. Acesso em: 20 out. 2018.

WMO. World Meteorological Organization. *Calculation of monthly and annual 30-year standard normals*. Genebra, 1989.

ZAVATTINI, J. A, BOIN, M. N. *Climatologia Geográfica: teoria e prática de pesquisa*. Campinas-SP: Alínea, 2013.