

AGROMETEOROLOGIA

DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL MENSAL OBSERVADA NO POSTO METEOROLÓGICO DO INSTITUTO AGRÔNOMICO, EM CAMPINAS, SP ⁽¹⁾

GABRIEL CONSTANTINO BLAIN ^(2*); SONIA MARIA DE STEFANO PIEDADE ⁽¹⁾;
MARCELO BENTO PAES DE CAMARGO ⁽⁴⁾; ANGÉLICA GIAROLLA ⁽⁵⁾

RESUMO

O conceito de alteração climática está atrelado à definição do termo clima. Assim, o primeiro passo no estudo de possíveis mudanças e de suas implicações nos diversos setores da sociedade e em especial na agricultura, é a correta caracterização do regime das variáveis meteorológicas de uma região, que não deve ser desassociada da dinâmica das condições do tempo. O objetivo deste trabalho é caracterizar a distribuição temporal de precipitação pluvial mensal no posto meteorológico do Instituto Agrônomico localizado no município de Campinas (1890 a 2005), buscando-se tendências no regime desse elemento. A fim de avaliar possíveis mudanças na distribuição de frequência de precipitação pluvial, os 116 anos de dados foram subdivididos em quatro períodos de igual duração: de 1890 a 1918 (P1); de 1919 a 1947 (P2); de 1948 a 1976 (P3) e de 1977 a 2005 (P4). Os 48 agrupamentos (quatro períodos de cada um dos 12 meses) foram, então, comparados por meio da função densidade de probabilidade gama. O grau de assimetria das distribuições pluviométricas mensais, evidenciado pelas grandes diferenças entre a média e a moda, mostrou ser discutível a consistência dos balanços hídricos climatológicos que utilizam valores médios mensais de chuva. O estudo não detectou tendência na variabilidade dos totais pluviométricos, na escala temporal utilizada, mostrando não ter havido mudanças significativas no regime de precipitação pluvial da série do posto meteorológico do Instituto Agrônomico em Campinas (SP).

Palavras-chave: alteração climática, clima, função densidade de probabilidade, balanço hídrico climatológico.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 6 de maio de 2006 e aceito em 26 de dezembro de 2006.

⁽²⁾ Centro em Ecofisiologia e Biofísica, Instituto Agrônomico (IAC), Caixa Postal 28, 13020-902 Campinas (SP). E-mail: gabriel@iac.sp.gov.br (*) autor correspondente.

⁽³⁾ Departamento de Ciências Exatas Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", ESALQ/USP, Caixa Postal 09, 13418-900 Piracicaba (SP)

⁽⁴⁾ Centro em Ecofisiologia e Biofísica, Instituto Agrônomico (IAC), Caixa Postal 28, 13020-902 Campinas (SP). Com Bolsa de Produtividade em Pesquisa - CNPq

⁽⁵⁾ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE, Caixa Postal 515, 12245-970 São José dos Campos (SP)

ABSTRACT

MONTHLY RAINFALL TEMPORAL DISTRIBUTION OBSERVED IN THE AGRONOMIC INSTITUTE WEATHER STATION AT CAMPINAS, SÃO PAULO STATE, BRAZIL

Climatic change is a difficult concept to define. Clearly, it is related to the definition of climate. The first step in a study about climatic changes and its social and agricultural impacts is associated to the correct characterization of the weather variation. The climate study should not be dissociated from the dynamics of each element of the weather. The aim of this study was to characterize the monthly rainfall temporal distribution at Campinas, São Paulo State, from 1890 to 2005. In order to detect possible trends in the precipitation series, the 116 years were divided in four equally spaced periods (P1, P2, P3 e P4) which were compared among themselves then using the gamma probability density function for 48 data sets (4 periods of each 12 months). The skewness level of the monthly precipitation series showed that the consistency of climatic water balance that uses monthly precipitations arithmetic means can be questioned in no significant trends were detected on the monthly rainfall time distribution at Campinas.

Key words: climatic change, climate, probability density function, climatic water balance.

1. INTRODUÇÃO

O fluxo de energia solar incidente sobre o globo terrestre é respondido pela atmosfera, oceanos, criosfera e biosfera de várias maneiras, tais como pelo armazenamento, pela re-emissão ou redistribuição das ondas eletromagnéticas. As manifestações dinâmicas ou termodinâmicas causadas por esses processos naturais podem ser avaliadas instantaneamente (tempo) ou em um período mais longo (clima). Não há, entretanto, uma divisão clara entre quando termina o estudo do tempo e começa o do clima (PITTOCK et al., 1978). Apesar dessa dificuldade, a importância do estudo do clima, nos diversos setores da sociedade e em especial nas ciências agrárias, é evidenciada por ORTOLANI e CAMARGO (1987) ao afirmarem que a produção agrícola depende fundamentalmente de quatro fatores: do germoplasma, do solo, do clima e do homem e que a compreensão de cada um desses fatores e suas inter-relações são premissas básicas para os avanços da produção agropecuária.

Devido à variação temporal, contínua ou descontínua, dos elementos meteorológicos, o conceito de clima não deve ser desassociado da dinâmica das diversas condições do tempo. Na quantificação das condições hídricas de uma região, por exemplo, o uso de ferramentas estatísticas que não reconhecem a variabilidade atmosférica (como a média aritmética), pode levar o usuário a interpretações pouco precisas.

De acordo com WAGGONER (1989), o estudo da distribuição de frequência de chuva é uma ferramenta mais apropriada para a caracterização climática desse elemento do que a média aritmética. A fragilidade do uso dessa medida de posição estatística na análise da variação espaço-temporal da precipitação pluvial é evidenciada por VINNIKOV et al. (1990). Esses autores demonstram que em alguns anos, apesar de ter sido registrado aumento nos totais de precipitação pluvial

na União Soviética, as regiões agrícolas foram submetidas à seca severa causada pela má distribuição temporal e espacial das chuvas.

De acordo com os relatórios do IPCC (1996; 2001) há, em escala regional, uma clara evidência de mudanças na variabilidade climática e nos eventos meteorológicos extremos devido às influências antropogênicas. Assim, atualmente a caracterização estatística de séries temporais de dados climáticos deve considerar a existência de possíveis alterações no regime esperado das variáveis em estudo na análise do clima de uma região. Entretanto, a dificuldade na conceituação do clima/tempo demonstrada anteriormente, dificulta a definição do termo mudança climática.

De acordo com PITTOCK et al. (1978), alterações climáticas devem ser evidenciadas por meio de tendências contínuas ou de descontinuidades na variabilidade de alguns elementos meteorológicos. KATZ (1991) afirma que a mudança no regime de uma variável que tenha distribuição assimétrica resultará em uma transformação na forma de tal representação gráfica. SANT'ANNA NETO (1995) e NUNES (1997) evidenciam que a distribuição da precipitação no Estado de São Paulo é assimétrica, sendo deslocada para a direita, ou seja, com tendência clara de anomalias positivas. Vários autores têm utilizado a distribuição gama incompleta no estudo da variabilidade de elementos ambientais, entre os quais pode-se citar: THOM (1966), JURAS (1994), WILKS (1995), ROPELEWSKI e HALPERT (1996), BEN-GAI et al. (1998), NUNES e CALBETE (2000), BRUNETTI et al. (2001), MORAES et al. (2001) e BLAIN (2005).

VICENTE e NUNES (2004) relatam que, como a maioria das cidades brasileiras, no município de Campinas, um dos centros tecnológicos mais importantes do país com aproximadamente 1 milhão de habitantes e crescimento demográfico caótico, tem

aumentado a vulnerabilidade desse município aos eventos climáticos extremos. Considerando que o correto entendimento da dinâmica climática é importante etapa na avaliação de possíveis transformações no regime de precipitação pluvial de uma região (BEN-GAI et al., 1998) e que o clima deve ser avaliado com base na sucessão das diversas condições de tempo, este estudo tem como objetivo caracterizar a distribuição temporal de precipitação pluvial mensal no posto meteorológico do Centro Experimental Central, do Instituto Agrônomo, localizado em Campinas (Fazenda Santa Elisa), detectando-se possíveis tendências no regime desse elemento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados diários de precipitação pluvial e de temperatura do ar do posto meteorológico representativo do município de Campinas-SP (22°54'S; 47°05'W; 669m), pertencente ao Instituto Agrônomo da Secretaria de Agricultura e Abastecimento. De acordo com a classificação de Köepen, o clima desse município é Cwa (temperatura média do mês mais quente maior ou igual a 22° C, do mês mais frio menor que 18° C e precipitação pluvial média do mês mais seco menor que 30 mm). A sucessão das diversas condições de tempo, nesse local, é individualizada pelo ritmo de circulação atmosférica regional, que se justapõe às diversificações do relevo. Na área atuam tanto sistemas tropicais (o tropical atlântico é o mais importante em termos de incidência temporal) como polares, com destaque para o polar atlântico, que conforme sublinhado por MONTEIRO (1973), comanda o ritmo climático regional (NUNES, 1997). O estudo foi realizado na escala mensal (12 séries). Na seqüência, os 12 conjuntos foram divididos em quatro períodos: de 1890 a 1918 (P1); de 1919 a 1947 (P2); de 1948 a 1976 (P3) e de 1977 a 2005 (P4), determinados com base na série disponível de dados (116 anos) e nas recomendações da Organização Meteorológica Mundial, quanto ao intervalo de tempo mínimo necessário para a caracterização climática de uma região (30 anos). Para avaliar possíveis mudanças temporais na distribuição de freqüência de ocorrência de valores de chuva, P1, P2, P3 e P4 de cada agrupamento mensal foram comparados, estimando-se a função densidade de probabilidade gama (FDPG) e seus parâmetros (forma, α e escala, β) nos 48 conjuntos. A expressão da FDPG para uma variável x é:

$$g(X) = \frac{X^{\alpha-1} * e^{-x/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad \text{para } X > 0 \quad (1)$$

sendo:

$\alpha > 0$ - adimensional

$\beta > 0$ - mesma dimensão da variável x .

$\Gamma(\alpha)$ - a função gama.

Os parâmetros α e β foram calculados pelo método da máxima verossimilhança, como propostas por THOM (1966):

$$\alpha = \frac{1}{4A} (1 + \sqrt{1 + 4A/3}) \dots \beta = \bar{X} / \alpha \quad (2)$$

$$A = \ln(\bar{X}) - \sum (\ln(X)) / n \quad (3)$$

A função densidade probabilidade gama assume diversas formas, de acordo com a variação de α : valores desse parâmetro inferiores a 1 resultam em uma distribuição fortemente assimétrica (forma exponencial) com $g(x)$ tendendo ao infinito para x tendendo a 0. Em $\alpha = 1$ a função intercepta o eixo vertical em $1/\beta$ para $x = 0$. O aumento da magnitude desse parâmetro diminui o grau de assimetria (desvio em relação à moda) da distribuição (a densidade de probabilidade desloca-se para a direita). Valores de α maiores que 1 resultam na FDPG com ponto máximo (moda) em $\beta * (\alpha - 1)$.

O aumento do parâmetro β alonga a FDPG para direita, com redução de sua altura e diminuição da probabilidade de ocorrência do valor da moda. Analogamente, conforme a densidade é comprimida para esquerda (diminuição da magnitude de β), a altura da função torna-se maior fazendo com que a probabilidade de ocorrência do valor da moda aumente.

A média ($\alpha * \beta$), a moda e o coeficiente de variação (CV) foram calculados para todos os períodos P1, P2, P3 e P4. BLAIN (2005) demonstrou, por meio dos testes qui-quadrado e Kolmogorov-Smirnov, que a série histórica de precipitação pluvial mensal utilizada neste estudo pode ser ajustada à distribuição gama. Foram também estimados os balanços hídricos climáticos e seqüenciais, de acordo com o método de THORNTWAITE e MATHER (1955), nos últimos trinta anos do período utilizado (1976 a 2005).

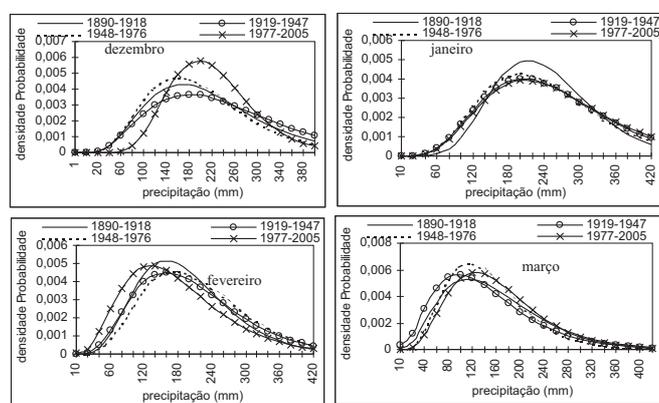
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1 e na tabela 1 são observados a FDPG e seus parâmetros em dezembro, janeiro, fevereiro e março. Nesse período, correspondente ao verão, verificam-se os maiores valores de α e portanto, de maneira geral, os menores graus de assimetria na FDPG.

Analisando os resultados de cada mês, observou-se que:

Tabela 1. Parâmetros da distribuição gama em dezembro, janeiro, fevereiro e março, nos períodos de 1890 a 1918 (P1), 1919 a 1947 (P2), 1948 a 1976 (P3) e 1977 a 2005 (P4)

Dezembro						Janeiro					
	Alfa	beta	Média	Moda	CV		Alfa	beta	Média	Moda	CV
P1	4,4	49,0	216	167	48	P1	8,3	29,4	243	214	35
P2	3,9	62,0	242	180	51	P2	5,4	46,3	251	205	43
P3	4,8	42,3	203	161	46	P3	5,8	41,8	242	200	42
P4	9,3	23,7	220	197	33	P4	5,4	47,4	256	209	43
Fevereiro						Março					
	Alfa	beta	Média	Moda	CV		Alfa	beta	Média	Moda	CV
P1	5,4	36,3	195	159	43	P1	3,5	46,0	160	114	54
P2	4,4	46,5	206	160	47	P2	3,0	47,8	144	97	58
P3	5,2	41,8	218	176	44	P3	4,7	31,1	146	115	46
P4	3,8	47,9	180	132	52	P4	4,5	35,9	162	126	47

**Figura 1.** Distribuição de precipitação pluvial mensal da série do Instituto Agrônomo (IAC) ajustada à PDF gama em dezembro, janeiro, fevereiro e março, nos períodos de 1890 a 1918, 1919 a 1947, 1948 a 1976 e 1977 a 2005.

Dezembro: Entre os quatro períodos, em P4, ocorreu um regime mais homogêneo de precipitação pluvial, com maior ocorrência de valores próximos à moda e menor grau de assimetria em torno desta, indicados pelo maior valor de α e menor valor de β . Wilhite (2000) afirma que a seca meteorológica pode ser entendida como um déficit de precipitação pluvial (períodos em que os totais de chuva estão consideravelmente abaixo de um patamar climatologicamente esperado). Assim, a maior probabilidade de ocorrência do valor da moda (diminuição do valor de β , 49 mm em P1, 62 mm em P2, 42,3 mm em P3 e 23,7 mm em P4) e o menor grau de assimetria da distribuição (aumento na magnitude de α , 4,4 em P1, 3,9 em P2, 4,8 em P3 e 9,3 em P4) demonstram que entre os quatro agrupamentos, P4 possui o menor potencial de risco de seca meteorológica. Os demais períodos tiveram uma distribuição bastante semelhante. O relativo baixo

grau de assimetria da distribuição de precipitação pluvial nos últimos 29 anos pode ser entendido como a menor distância entre o valor da média e da moda desse subconjunto.

Janeiro: Com exceção para P1, nos demais períodos, verificou-se FDPG bastante semelhante com valores próximos de α e β . Com isso, pode-se afirmar que não foram detectadas mudanças significativas no regime de precipitação pluvial entre 1919 e 2005 em janeiro, em Campinas. O grau de assimetria do regime de precipitação pluvial e, conseqüentemente, a inconsistência do uso da média aritmética para caracterização climática da região, podem ser evidenciados comparando-se as formas da distribuição em P1 e P4. No primeiro período, com média de 243 mm, a tendência, em um balanço hídrico climático médio, é ocorrer uma condição mais seca do que a de P4 com média de 256 mm. Entretanto, se nesse mesmo tipo de balanço fosse utilizado a moda, essa tendência seria inversa, pois essa última medida de posição possui a magnitude de 214 mm em P1 e de 209 mm em P4. Tal possível inadequação pode também ser estendida aos zoneamentos agroclimáticos que ainda utilizam os valores médios de temperatura e especialmente precipitação pluvial, na escala mensal, em seu método de elaboração.

Fevereiro: Verificou-se em P4 uma FDPG mais assimétrica com menor valor da moda (180 mm) e menor probabilidade de sua ocorrência. A análise mais detalhada da figura 1 demonstra que nesse período, valores menores que o ponto de máxima densidade têm maior possibilidade de ocorrência se comparados aos demais. Esse quadro é inverso, quando o ponto de máxima é ultrapassado. Assim, pode-se afirmar que fevereiro, nos últimos 29 anos, foi o mês mais sujeito a secas meteorológicas do que nos

anos anteriores a 1977. É ainda interessante ressaltar que esse tipo de seca, no mês em questão, possui alto potencial de dano agrícola, por coincidir com períodos de alta demanda hídrica das culturas da região (fase reprodutiva). A distância entre o valor da média e da moda, especialmente em P4 (48 mm), é mais uma evidência da inconsistência do uso da média aritmética de precipitação pluvial mensal para a caracterização climática da região.

Março: P3 e P4 possuem FDPG com menor grau de assimetria, que pode ser evidenciada pela menor distância entre o valor da média e da moda, se comparados a P1 e P2. Assim, nota-se que nos últimos 58 anos houve maior homogeneidade na distribuição do regime de precipitação pluvial em março. Os quatro meses representados na figura 1 podem ser considerados úmidos, se comparados aos demais, com a forma da PDF gama mais próxima à distribuição normal. Como de abril a outubro observa-se aumento no grau de assimetria, com valores de α geralmente inferiores a três, se esse quadro coincidir com estádios críticos dos vegetais a déficits hídricos, aumenta o potencial de seca agrícola na região, podendo resultar em grandes perdas para os produtores.

A figura 2 e a tabela 2 evidenciam a FDPG e seus parâmetros em abril, maio, junho, julho, agosto e setembro.

Abril: Observa-se que em P2 e P4, os valores mais baixos do parâmetro de forma (1,7 e 1,6, respectivamente), entretanto, o maior valor de β revela que, nos últimos 29 anos, a distribuição foi a mais assimétrica (maior distância entre média e moda) e, conseqüentemente, menor a probabilidade de ocorrência do ponto de máxima densidade. Entretanto, em P4, foi observado um deslocamento para a direita exibindo valores de precipitação pluvial superiores a 120 mm com maiores probabilidades de ocorrência do que nos demais períodos.

Maior: Nos períodos P2 e P3 ocorreu a forma de distribuição "j" invertido que, devido a seu forte grau de assimetria ($\alpha \leq 1$), impossibilita a determinação do valor da moda por meio da FDPG. Por outro lado, foi observado em P4 um regime de chuvas bastante diferenciado (alto grau de homogeneidade dos totais de precipitação pluvial $\alpha = 1,8$) em relação aos acima citados. Nota-se que, nos últimos 29 anos, volumes elevados de precipitação pluvial tiveram maior densidade de probabilidade se comparados aos demais períodos, observando-se em P4 uma PDF deslocada para a direita e, conseqüentemente, maior número de anomalias positivas do elemento meteorológico chuva.

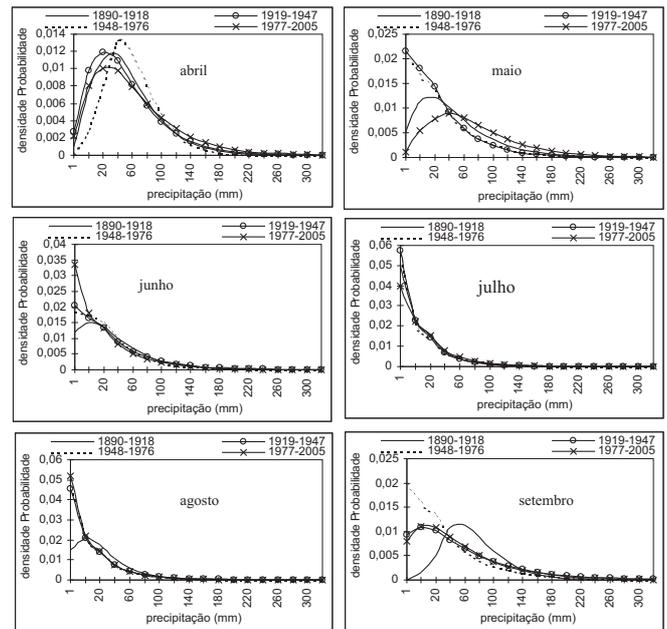


Figura 2. Distribuição de precipitação pluvial mensal da série do Instituto Agrônomo (IAC) ajustada à PDF gama em abril, maio, junho, julho, agosto e setembro, nos períodos de 1890 a 1918, 1919 a 1947, 1948 a 1976 e 1977 a 2005.

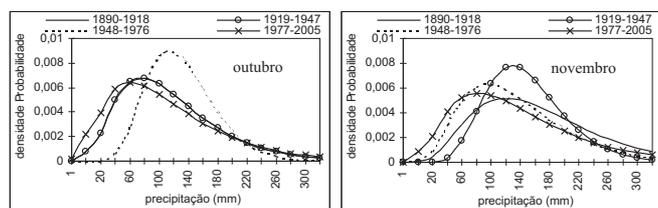
Junho, julho e agosto: Esses meses são de grande variabilidade dentro de cada subperíodo, evidenciado pelos baixos valores de α e pelos altos CV% que exemplificam também, de maneira bastante clara, a inconsistência do uso da média aritmética como valor "normal" do elemento meteorológico chuva. É interessante ressaltar que, apesar desse quadro, os meses mais secos, especialmente, junho, julho e agosto, por si só, não são de alto potencial de seca meteorológica, pois um possível déficit de precipitação nunca poderá ser elevado se o patamar climatologicamente esperado é baixo.

Setembro: No período P1, observou-se um regime de precipitação pluvial bastante diferenciado dos demais, com valor da moda de 52 mm e CV de 54%, o que evidencia diferenças significativas na dinâmica da sucessão dos tipos de tempo observados nesse agrupamento em relação aos demais (P2, P3 e P4). Entretanto, o valor da média aritmética de cada subconjunto (73 mm em P1, 74 mm em P2, 52 mm em P3 e 69 mm em P4) não demonstra grandes alterações evidenciando, com isso, a inadequação do uso de ferramentas estatísticas que não reconhecem a variabilidade na caracterização climática de uma região.

Tabela 2. Parâmetros da distribuição gama em abril, maio, junho, julho, agosto e setembro, nos períodos de 1890 a 1918 (P1), 1919 a 1947 (P2), 1948 a 1976 (P3) e 1977 a 2005 (P4)

Abril						Maio					
	Alfa	beta	Média	Moda	CV		Alfa	beta	Média	Moda	CV
P1	2,0	29,9	61	31	70	P1	1,4	42,2	60	18	84
P2	1,7	35,9	60	24	77	P2	1,0	43,6	44	1	99
P3	3,2	19,5	62	43	56	P3	1,0	50,8	49	*	101
P4	1,6	42,6	70	28	78	P4	1,8	44,5	82	37	74
Junho						Julho					
	Alfa	beta	Média	Moda	CV		Alfa	beta	Média	Moda	CV
P1	1,2	42,9	51	8	92	P1	0,8	36,4	28	*	113
P2	1,0	51,9	51	*	101	P2	0,7	40,4	28	*	120
P3	1,1	42,1	45	3	97	P3	0,7	47,8	32	*	123
P4	0,8	55,8	45	*	112	P4	0,9	37,2	32	*	108
Agosto						Setembro					
	Alfa	beta	Média	Moda	CV		Alfa	beta	Média	Moda	CV
P1	1,3	27,3	35	8	88	P1	3,4	21,2	73	52	54
P2	0,7	47,6	35	*	116	P2	1,1	65,8	74	9	94
P3	0,8	44,1	33	*	115	P3	1,0	53,0	52	*	101
P4	0,7	42,5	31	*	118	P4	1,2	56,9	69	12	91

É apresentado na figura 3 e na tabela 3 a FDPG e seus parâmetros de outubro e novembro.

**Figura 3.** Distribuição de precipitação mensal da série do Instituto Agrônomo (IAC) ajustada à PDF gama em outubro e novembro, nos períodos de 1890 a 1918, 1919 a 1947, 1948 a 1976 e 1977 a 2005.

Outubro: Verificou-se em P3 um regime bastante diferenciado dos demais, com distribuição próxima à normal ($\alpha = 7,8$). Em nenhum mês foi observada uma frequência tão alta de totais de precipitação pluvial próximos à moda. A semelhança entre as médias dos quatro agrupamentos representa que a diferença de P3 dos demais períodos não foi a magnitude das precipitações pluviais mensais e sim

sua distribuição ao longo dos 29 anos. Por outro lado, P4 foi o de maior grau de assimetria, indicando as maiores probabilidades de ocorrência para valores inferiores a 55 mm e as menores para superiores a 60 mm. Nota-se, portanto, que P4 foi mais sujeito às secas meteorológicas do que os demais subperíodos.

Novembro: Assim como observado em outubro, P4 também de maior grau de assimetria, indicando as maiores probabilidades de ocorrência para valores inferiores a 60 mm e as menores para totais entre 110 e 180 mm, sendo, portanto, o agrupamento temporal mais sujeito à seca meteorológica. Entre os quatro períodos, P2 foi o que mais se aproximou da distribuição normal.

O grau de assimetria das distribuições mensais apresentadas, aliadas às afirmações de SANT'ANNA Neto (1995) e NUNES (1997) de que a distribuição da precipitação pluvial no Estado de São Paulo é assimétrica e deslocada para a direita, evidenciam a inconsistência do uso da média aritmética mensal de precipitação pluvial em balanços hídricos utilizados para a caracterização climática de uma região.

Tabela 3. Parâmetros da distribuição gama em outubro e novembro nos períodos de 1890 a 1918 (P1), 1919 a 1947 (P2), 1948 a 1976 (P3) e 1977 a 2005 (P4)

Outubro						Novembro					
	Alfa	beta	Média	Moda	CV		Alfa	beta	Média	Moda	CV
P1	2,8	42	118	76	59	P1	3,6	46,0	168	122	52
P2	2,8	41	118	76	59	P2	7,5	19,8	149	129	36
P3	7,8	17	131	114	36	P3	3,5	38,6	135	97	53
P4	2,1	55	116	61	69	P4	2,5	55,5	138	82	63

Outra característica de FDPG com deslocamento para direita é que valores imediatamente superiores à moda possuem maior densidade de probabilidade do que os totais imediatamente inferiores a essa. Assim, o uso da moda em balanços hídricos destinados à caracterização climática, pode resultar em valores extremamente severos de deficiência hídrica que não representariam adequadamente a sucessão das diversas condições do tempo em localidades com esse tipo de FDPGs. Ainda nessa linha, em períodos em que α é menor do que 1, a moda pode ser obtida pela

extrapolação da curva de densidade, assumindo, com isso, o valor 0. Em distribuições com assimetria positiva, a mediana posiciona-se entre a moda e a média, acompanhando, portanto, a assimetria positiva das séries de precipitação pluvial além de também evitar a necessidade da extrapolação anteriormente citada.

Na tabela 4, verificam-se os valores de deficiência hídrica gerados em balanços hídricos (1976 a 2005; armazenamento máximo de 100 mm), quando são utilizadas a média, a moda e a mediana do elemento chuva.

Tabela 4. Deficiências hídricas (DHCE) estimadas por meio de balanços hídricos destinados à caracterização climática (BHC) utilizando-se a média, a moda e a mediana da série de precipitação pluvial do posto meteorológico do Instituto Agrônomo (1976 a 2005)

Data	Precipitação pluvial			DHCE geradas pelos BHC		
	Média	Moda	Mediana	Média	Moda	Mediana
jan	245	196	211	0	0	0
fev	182	128	197	0	0	0
mar	159	122	148	0	0	0
abr	75	34	68	0	9	1
mai	75	28	64	0	15	0
jun	51	0	33	0	31	2
jul	38	0	24	1	42	10
ago	28	0	15	12	60	29
set	75	16	69	3	61	8
out	115	66	103	0	39	2
nov	140	118	142	0	0	0
dez	218	196	207	0	0	0

Evidencia-se uma intensificação do valor da deficiência hídrica (DHCE), quando são usadas a média, a mediana e a moda da precipitação pluvial (Tabela 4). A fim de verificar qual valor de DHCE está mais próximo da real dinâmica dos diversos tipos de tempo, avaliou-se, em um balanço hídrico seqüencial (1976 a 2005; armazenamento máximo de 100 mm), qual a freqüência com que esses valores de DHCE são ultrapassados. Se os valores de DHCE gerados em balanços hídricos destinados à caracterização climática (BHC) forem ultrapassados com freqüências consideravelmente superiores a 50%, pode-se considerar que tal BHC está subestimando o valor da DHCE em uma região. Por outro lado, se o valor gerado for ultrapassado com freqüências bastante inferiores a 50% tal BHC estará superestimando o valor da DHCE. A tabela 5 evidencia essa avaliação.

Em junho, julho e agosto, o BHC gerado com valores médios da precipitação pluvial, subestima as DHCE que chegam a ser ultrapassadas em até 77% dos casos que foram registrados no balanço hídrico seqüencial do período. Por outro lado, o BHC, calculado com a moda de precipitação pluvial, superestima os valores das DHCE, não sendo registradas, no mês de julho, deficiências hídricas tão severas quanto a indicada por esse balanço (42 mm).

Tabela 5. Porcentagem pela qual os valores das deficiências hídricas (DHCE) estimadas por meio de balanços hídricos destinados à caracterização climática (BHC) são ultrapassados no balanço hídrico seqüencial do período utilizado (1976 a 2005; armazenamento máximo de 100 mm)

Mês	DHCE_Media	DHCE_Moda	DHCE_Mediana
		Freqüência	
%			
jan	10	10	10
fev	23	23	23
mar	23	23	23
abr	57	23	50
mai	47	17	47
jun	63	7	47
jul	77	0	53
ago	67	3	50
set	50	10	47
out	50	13	47
nov	40	40	40
dez	7	7	7

As DHCE estimadas em um BHC com base na mediana (no período de abril a novembro) são ultrapassadas com frequências entre 40% e 53%. Esse patamar de ocorrência indica maior proximidade desse ultimo tipo de BHC em relação às diversas condições de tempo observadas na região.

4. CONCLUSÕES

1. A principal característica das séries de precipitação pluvial do Centro Experimental Central (Fazenda Santa Elisa), IAC, é a grande diferença entre as formas mensais de densidade de probabilidade desse posto. Nos meses úmidos, são detectadas distribuições com menores graus de assimetria (valores de γ superiores a 8; proximidade à distribuição normal e moda superiores a 200 mm). Em contrapartida, nos meses secos (maio, junho, julho e agosto) ocorrem distribuições do tipo "j" invertido (valores de γ inferiores a 1) não sendo possível, por meio da FDPG, o cálculo do ponto de máxima densidade.

2. Essa grande variabilidade entre os meses é também observada dentro de cada agrupamento mensal. No P4 (janeiro), por exemplo, entre a máxima probabilidade (0,004) e a de 0,003, os totais variam de 140 a 300 mm. Nos meses secos, devido à forma da distribuição e aos altos valores de CV, ocorrem variabilidade ainda maior. Assim, o estabelecimento de um patamar pluviométrico climatologicamente esperado, está sujeito a um maior grau de incerteza. A mediana das séries de precipitação pluvial é um valor mais próximo à sucessão das diversas condições de tempo do que a média ou a moda na escala mensal.

3. Sob o aspecto de mudanças no regime mensal de chuva, a comparação dentro de cada mês dos períodos P1, P2, P3 e P4 não demonstrou nenhuma tendência contínua ou descontinuidade na variabilidade da precipitação pluvial. Em P4, no mês de fevereiro, verificou-se forte aumento no potencial de seca meteorológica em relação a P1, P2 e P3. Por outro lado, P4 em dezembro, evidenciou uma queda bastante significativa, se comparado aos demais períodos, na probabilidade de ocorrência desse tipo de seca. Em maio, a moda teve seu maior valor nos últimos 29 anos (37 mm), ao passo que em setembro a maior magnitude desta medida de posição (52 mm) ocorreu em P1. Assim, de acordo com a FDPG e com a escala temporal utilizada, não foram verificadas mudanças significativas no regime de precipitação na série utilizada.

4. Foi também verificado que a mediana é a medida de posição estatística que mais bem caracteriza as séries mensais de precipitação

pluvial em Campinas. Conseqüentemente, os balanços hídricos climáticos gerados com essa ferramenta permanecem mais próximos da real dinâmica das diversas condições de tempo observadas em Campinas, quando comparados aos gerados com a média ou a moda da chuva mensal. Tal fato pode servir como base para novos estudos que avaliem o uso dessas três medidas de posição na caracterização climáticas das diversas regiões do Estado de São Paulo.

REFERÊNCIAS

- BLAIN, G. C. **Avaliação e adaptação do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) e do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) às condições climáticas do Estado de São Paulo**. 2005. 120. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Sub-tropical) - Instituto Agrônomo, Campinas (SP).
- BEN-GAI, T., BITTAN, A., MANES, A., ALPERT, P., RUBIN, S. Spatial and temporal changes in rainfall frequency distribution patterns in Israel. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v.61 p. 177-190, 1998.
- BRUNETTI, M., MAUGERI, M., NANNI, T. Changes in total precipitation, rainy days and extreme events in northeastern Italy. **International Journal of Climatology**, Bracknell, v. 21, p.861-871, 2001.
- IPCC. Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group 1 to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In. HOUGHTON, JT. (Ed.). Cambridge: University Press, 1996.
- IPCC. Climate Change 2001. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group 2 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In. HOUGHTON, JT. (Ed.). Cambridge: University Press, 2001.
- JURAS, J. Some common features of probability distributions for precipitation. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien v. 49, p. 69-76, 1994.
- KATZ, R.W. Towards a statistical paradigm for climate change. Preprints, In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 7, 1991, Boston. **Anais...**, Boston: American Meteorological Society, 1991. (Preprints)
- MORAIS, A.R., BOTELHO, A.V.A., CARVALHO, L.G., MUNIZ, J. A., LGE, G. Estimativa da precipitação provável em Lavras (MG) através da distribuição gama. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.2. p.305-310, 2001.
- MONTEIRO, C.A. F. **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo**: estudo geográfico sob forma de atlas. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1973. p.154.

- NUNES, L.H.; CALBETE, N.O. Variabilidade pluviométrica no Vale do Paraíba Paulista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000. p. 3987-3994. (CD ROM)
- NUNES, L.H. **Distribuição espaço-temporal da pluviosidade no Estado de São Paulo**: variabilidade, tendências, processos intervenientes. 1997. 192 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 1997.
- ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, M.B.P. **Influência dos fatores climáticos na produção**: Ecofisiologia da Produção Agrícola. Piracicaba: Potafos, 1987. 249 p.
- PITTOCK, A.B.; FRAKES, L.A.; JESSEN, D.; PETERSON, J.A.; ZILLMAN, J.W. **Climatic change and variability**: a southern perspective. Cambridge: University Press, 1978. 455p.
- ROPELEWSKI, C.F., HALPERT, M.S. Quantifying Southern-Oscillation precipitation relationships. **Journal of Climate**, Washington, D. C. v. 9, p.1043-1059. 1996.
- SANT'ANNA NETO, J.L. **As chuvas no Estado de São Paulo**: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica. 1995, 252 f. Tese (Doutorado) Universidade Estadual de São Paulo, 1995.
- THOM, H. C. S. **Some methods of climatological analysis**. Geneve: World Meteorological Organization, 1996. 53p. (WMO, 199; TP, 103; Technical note, 81)
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1955, 104 p. (Publications in Climatology, v.8, n.1)
- VICENTE, A.K., NUNES, L.H. Extreme precipitation events in Campinas, Brasil. **Terra**, Campinas, v.1, n.1 p.60-62, 2004.
- VINNIKOV, K. Ya., GROISMAN, P. Ya., LUGINA, K. M., 1990: Empirical data on contemporary global climate changes (temperature and precipitation). **Journal of Climate**, Washington, D. C. v.3, p.662-677.
- WAGGONER, P.E., Anticipating the frequency distribution of precipitation if climate change alters its mean. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v..47, p.321-337, 1989.
- WILHITE, D. A., Drought as a natural hazard: Conceptions and definitions. In: WILHITE, D. A. **Drought** : a global assessment. Routledge, 2000. p. 111-120.
- WILKS, D.S. Theoretical probability distributions. In: STATISTICAL methods in the atmospheric sciences. San Diego: Academic Press, 1995. p. 96-93.