



Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.3, n.2, p.78–87, 2009  
 ISSN 1982-7679 (On-line)  
 Fortaleza, CE, INOVAGRI – <http://www.inovagri.org.br>  
 Protocolo 020.09 - 03/04/2009 Aprovado em 05/10/2009

## ESTIMATIVA DO BALANÇO HÍDRICO PARA AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS IGUATU, CEARÁ, USANDO MODELO ESTOCÁSTICO

Francisco Dirceu Duarte Arraes<sup>1</sup>, Fernando Bezerra Lopes<sup>2</sup>, Francisco de Souza<sup>3</sup> & Joaquim Branco de Oliveira<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Graduado em Irrigação e Drenagem, mestrando em Engenharia Agrícola (Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semi-árido) – UFC. Caixa Postal 12168, CEP: 60 455 970, Fortaleza, CE. Fone (85) 3366 9762. bolsista do CNPq. [dirceuti@yahoo.com.br](mailto:dirceuti@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Graduado em Recurso Hídricos/Irrigação, M. Sc. em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Doutorando em Engenharia Agrícola (Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semi-árido) – UFC, Fortaleza, CE. bolsista da CAPES. [lopesfb@yahoo.com.br](mailto:lopesfb@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Ph.D., Prof. aposentado do Depto. de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza – CE, [fsouza@ufc.br](mailto:fsouza@ufc.br)

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo, M. Sc. em Meteorologia Agrícola, Doutorando em Fitotecnia – UFERSA, Prof. do Instituto Federal de Educação Ciência Tecnologia do Ceará – Campus Iguatu. [joaquimbrancodeoliveira@gmail.com](mailto:joaquimbrancodeoliveira@gmail.com)

**RESUMO:** Este trabalho teve como objetivo a obtenção dos parâmetros da distribuição gama ajustada aos dados de precipitação e de evapotranspiração mensal para a região de Iguatu, bem como, estimar os déficits e os excedentes hídricos mensais, através de modelos probabilísticos e em diferentes níveis de probabilidade. O trabalho foi realizado utilizando a série de dados em escala diária compreendida entre os anos de 1961 a 2005, oriundos da Estação Climatológica Principal (ECP) de Iguatu, pertencente à rede de observações meteorológicas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para cada base de dados determinaram-se os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  da Distribuição Gama para a probabilidade de chuva e da evapotranspiração mensal. O ajuste dos dados foi realizado através do teste de aderência do Qui-Quadrado ao nível de 5% de significância. Elaborou-se, para cada nível probabilístico analisado, um balanço hídrico mensal, utilizando-se a capacidade de água disponível como sendo de 100 mm. Ao nível de 75% de probabilidade, há uma necessidade de reposição hídrica variando de 132,5 mm no mês de julho até 176,5 mm no mês novembro, com totais de 335,4 mm no primeiro semestre e de 967,7 mm no segundo semestre, totalizando 1303,1 mm ao longo do ano.

**Palavras Chave:** Distribuição gama, precipitação, evapotranspiração

### ESTIMATING THE WATER BALANCE FOR THE CLIMATIC CONDITIONS OF IGUATU (CEARÁ – BRAZIL) USING STOCHASTIC MODEL

**ABSTRACT:** This paper had the objective of estimating the parameters of the Gamma Distribution adjusted to the precipitation and monthly evapotranspiration data of the Iguatu region as well as to estimate the monthly water deficits and excesses, through the application of probabilistic models in different levels of probability. This work was carried through using the series of data in a daily basis between 1961 and 2005. The data was collected at the Main Climatological Station of Iguatu, pertaining to the meteorological net of the National Institute of Meteorology (INMET). For each database the parameters  $\alpha$  and  $\beta$  of the Gamma Distribution were determined for the precipitation

probability and monthly evapotranspiration. The data adjustment was verified through the Chi-Square test at the of 5% level of significance. For each analyzed probabilistic level, a monthly water balance it was obtained, using the available water capacity as being 100 mm. To the level of 75% of probability, there was a need to replace 132.5 mm of water since July up to 176.5 mm in November, with totals of 335.4 mm in the first semester and 967.7 mm in the second semester and 1303.1 mm throughout the year.

**Key words:** Gamma Distribution, precipitation, evapotranspiration

## INTRODUÇÃO

A produção agrícola é função de elementos probabilísticos no sentido de que ela depende entre outros fatores das variáveis climáticas, tais como quantidade total de chuva, distribuição pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar (BOTELHO & MORAIS, 1999). A precipitação pluvial é um dos elementos essenciais nas atividades agrícolas, a partir do volume de chuva precipitado e da sua distribuição pode-se determinar quais os tipos de atividades agrícolas de certa localidade.

O conhecimento da distribuição das precipitações e da evapotranspiração fornece subsídios para determinar períodos críticos predominantes numa determinada região e, condições de fornecer informações que visem reduzir as conseqüências causadas pelas flutuações do regime pluviométrico, seja pelo emprego da irrigação ou pela implantação de culturas adaptadas à sazonalidade deste regime (JUNQUEIRA JUNIOR et al., 2007). De maneira geral, os projetos de irrigação são dimensionados visando suprir todas as necessidades hídricas da planta, sem levar em conta a parcela provável de precipitação. O dimensionamento de sistemas de irrigação baseia-se, geralmente, em previsões do uso de água pelas culturas. A utilização de estimativas da necessidade de água das culturas sem nenhum critério, ou resultante de modelos, nem sempre são capazes de proporcionar resultados confiáveis. Na maioria das vezes se utilizam como parâmetro de dimensionamento, valores máximos ou médios de evapotranspiração (SAAD et al., 2002).

O balanço hídrico é uma metodologia muito utilizada para se avaliar o armazenamento de água no solo e quantificar déficits e excessos hídricos ao longo do tempo (FIETZ et al., 2001). De acordo com o referido autor, na agricultura irrigada o balanço hídrico é aplicado na determinação de períodos com excesso ou escassez de água e, principalmente, na quantificação das deficiências hídricas de uma região.

Em 1948, C. W. Thornthwaite desenvolveu um método simples para estimar o balanço hídrico climático em bases mensais, usando valores médios mensais da temperatura do ar e do total pluviométrico, bem como a capacidade de armazenamento hídrico do solo (VAREJÃO-SILVA, 2000). Posteriormente Thornthwaite & Mather (1955) modificaram o método original de estimativa do balanço hídrico climatológico. Desde então o método vem sofrendo alterações, Martins (2001) usou diversas equações de estimativa da evapotranspiração de referência, no cálculo do balanço hídrico.

Segundo Catalunha et al. (2002) o uso de funções densidade de probabilidade está diretamente ligado à natureza dos dados a que ela se relaciona. Algumas têm boa capacidade de estimação para pequeno número de dados, outras requerem grande série de observações. Devido ao número de parâmetros de sua equação, algumas podem assumir diferentes formas, enquadrando-se em um número maior de situações, ou seja, são mais flexíveis. Estudos de ajustes de função de distribuição de probabilidade ou estimativas de probabilidade usando funções de distribuição de probabilidade

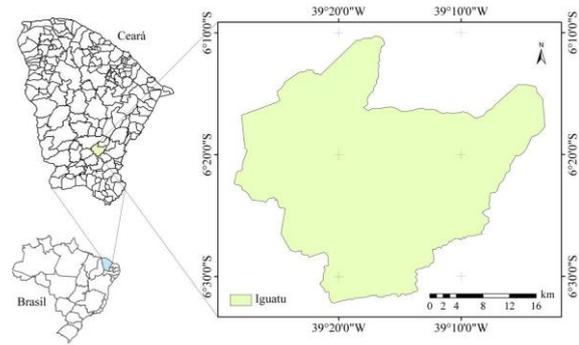
## Estimativa do balanço hídrico para as condições climáticas Iguatu, Ceará, usando 80 modelo estocástico

teóricas em relação a um conjunto de elementos climáticos têm sido desenvolvidos, enfatizando os benefícios no planejamento de atividades que minimizem riscos climáticos (RIBEIRO et al., 2007; VIANA et al., 2005; SILVA et al., 1998; SAAD, 1990). Segundo Assis et al. (1996) a função de distribuição de probabilidade gama pode ser considerada como a mais adequada para representar variáveis meteorológicas em períodos diários e mensais.

Este trabalho teve como objetivo a obtenção dos parâmetros da distribuição gama ajustada aos dados de precipitação e a evapotranspiração referência mensal da região Iguatu bem como a estimava dos déficits e os excedentes hídricos mensais, através do modelo probabilístico em diferentes níveis de probabilidade.

### MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado utilizando a série de dados em escala diária compreendida entre os anos de 1961 a 2005, oriundos da Estação Climatológica Principal (ECP) de Iguatu, pertencente à rede de observações meteorológicas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), cujas coordenadas geográficas são 06° 24' 48'' de latitude sul e 39° 24' 42'' de longitude oeste e altitude de 217 m (Figura 1). A área em estudo está inserida na zona climática classificada por Koeppen como do tipo BSw'h', clima quente e semi-árido, caracterizado pela insuficiência das chuvas, com temperaturas elevadas acarretando numa forte evaporação, e tendo apenas duas estações climáticas bem definidas durante o ano, chuvoso e seca, sendo que a última pode durar de 7 a 8 meses.



**Figura 1** – Localização da área de estudo

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi estimada pelo método considerado padrão de Penman-Montheith (ALLEN et al., 1998), recomendado pela FAO no seu manual 56. (Equação 1).

$$ET_o = \frac{0,480\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

Onde: Rn é o saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), G o fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>),  $\gamma$  a constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>), T a temperatura média do ar (°C), u<sub>2</sub> a velocidade do vento a 2,0 m de altura (m s<sup>-1</sup>), e<sub>s</sub> e e<sub>a</sub> são a pressão de vapor do ar saturado e do ar ambiente (kPa), respectivamente e  $\Delta$  a inclinação da curva de pressão de vapor (kPa °C<sup>-1</sup>).

### Distribuição Gama

Se x for uma variável aleatória contínua, tal que (0 < x < ∞), com distribuição gama de parâmetros  $\alpha > 0$  e  $\beta > 0$ , Sendo F(x) a probabilidade de ocorrência de um evento menor ou igual a x, pode-se escrever que a função de distribuição acumulada de probabilidade é representada pela função gama incompleta (Equação 2).

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad (2)$$

Sendo:

$\alpha > 0$  – adimensional;

$\beta > 0$  – adimensional;  
 $\Gamma(\alpha)$  – é a função gama

Algumas formas de estimar os parâmetros da distribuição gama foram desenvolvidas, contribuindo, junto com a sua flexibilidade de formas, para sua utilização em diversas áreas (HAAN, 1979). Os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  foram calculados pelo método da máxima verossimilhança, como propostas por Thom (1958):

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4(\ln(\bar{x}) - x_g)}{3}}}{4(\ln(\bar{x}) - x_g)} \text{ e } \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (3)$$

Onde  $\bar{x}$  a média aritmética e  $x_g$  a média geométrica das observações.

Em seguida, estimaram-se as precipitações e as evapotranspirações de referência mensais prováveis através da função de distribuição gama para os seguintes níveis de probabilidade: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 75, 80 e 90 %, conforme descrita por Assis et al. (1996). O déficit e o excesso de água foram determinados através de um balanço hídrico climatológico mensal, realizado segundo a metodologia de Thornthwaite & Mather (1955). O método utiliza os seguintes parâmetros no cálculo do balanço hídrico: Precipitação; Evapotranspiração potencial e a capacidade de água disponível (CAD).

A partir da quantificação das precipitações e das evapotranspirações mensais, elaborou-se, para cada nível probabilístico analisado, um balanço hídrico mensal utilizando a capacidade de água disponível (CAD) como sendo de 100 mm. Em consequência, dos balanços calculados obtiveram-se os totais mensais da deficiência e do excedente hídricos nos diferentes níveis probabilísticos (VIANA et al., 2005). Para avaliar o ajuste dos dados pluviométricos e das evapotranspirações mensais da distribuição gama, em todos os períodos estudados, utilizou-se o teste de  $\chi^2$  (Qui-Quadrado), ao nível de 5% de significância,

considerando como graus de liberdade o número de classes -1 (FERREIRA, 2005).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 encontram-se os valores dos parâmetros estatísticos da ETo calculada pelo método de Penman-Montheith (FAO56) para as condições de Iguatu. Os valores da média da evapotranspiração potencial ao longo do ano foram superiores a 100 mm, sendo que no período de setembro a novembro estes valores foram superiores a 200 mm. A máxima evapotranspiração foi registrada em outubro (223,8 mm) e a mínima em abril (138 mm). Os coeficientes de variação calculados para os valores da ETo oscilaram entre 13,1 e 33,3%, enquanto que os valores do desvio padrão variam de 19,7 a 70,3 mm. As flutuações nos valores de evapotranspiração média mensal indicam que valores médios não são os mais adequados como indicadores da evapotranspiração de referência, sendo necessário efetuar-se uma análise de frequência de distribuição. Segundo Saad et al. (2002) este comportamento ocorre, normalmente, em análise de frequência da evapotranspiração e, dependendo do período acumulado e do nível de probabilidade adotados, pode resultar em sensíveis diferenças no dimensionamento de sistemas de irrigação.

**Estimativa do balanço hídrico para as condições climáticas Iguatu, Ceará, usando 82 modelo estocástico**

Tabela 1 – Valores dos parâmetros estatísticos analisados da evapotranspiração de referência mensal para Iguatu-CE

Mês	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Coefficient e de Variação (%)
Janeiro	166,3	55,3	33,3
Fevereiro	151,0	19,7	13,1
Março	149,4	30,7	20,6
Abril	138,0	23,2	16,8
Mai	142,2	39,66	27,9
Junho	152,4	45,1	29,6
Julho	170,4	58,0	34,0
Agosto	195,0	62,9	32,2
Setembro	213,2	62,5	29,3
Outubro	223,8	70,3	31,4
Novembro	215,4	58,3	27,1
Dezembro	193,4	49,7	25,7

Na Tabela 2 encontram-se os valores dos parâmetros estatísticos da precipitação pluvial da cidade de Iguatu. O mês de março apresentou o maior valor (225,7 mm), tal fato pode ser explicado pelo o processo de formação das chuvas na região, que sofre grande influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). De acordo com Uvo et al. (1998), existe uma conexão entre a chuva no Nordeste brasileiro e a ZCIT. Os mesmos autores explicam que a estação chuvosa principal é iniciada entre fevereiro e março, quando a ZCIT sobre o Oceano Atlântico Tropical alcança sua posição mais ao sul.

Ainda em relação à Tabela 2 nota-se que o comportamento das precipitações pluviométricas ao longo do ano apresenta grandes variações no período estudado. Tendo em vista os altos valores do coeficiente de variação, os mesmos variaram de 45,1 a 202,8 %. Estes resultados mostram que os valores médios não são capazes de indicar o

comportamento da precipitação pluvial logo se faz necessário o uso de técnicas probabilísticas.

Tabela 2 – Valores dos parâmetros estatísticos analisados da precipitação pluviométrica mensal para Iguatu-CE

Mês	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Coefficiente de Variação (%)
Janeiro	141,4	100,5	71,1
Fevereiro	164,6	100,9	61,3
Março	225,7	101,7	45,1
Abril	188,7	121,9	64,6
Mai	93,7	73,9	78,8
Junho	38,7	47,0	121,5
Julho	14,8	30,1	202,8
Agosto	8,8	13,2	149,9
Setembro	13,1	24,1	184,8
Outubro	16,8	29,0	173,0
Novembro	10,0	15,8	157,3
Dezembro	57,0	61,5	107,9

As estimativas dos parâmetros  $\beta$  e  $\alpha$  da distribuição gama ajustada, são apresentados na Tabela 3 para as duas variáveis analisadas. Pode-se observar que os valores do parâmetro  $\beta$  não excederam o valor 100 em nenhum mês, em ambas as variáveis analisadas, possibilitando assim a utilização na distribuição gama para o cálculo da estimativa das precipitações e da evapotranspiração de referência prováveis para as condições de Iguatu, Ceará. De acordo com Thom (1958), para valores superiores a 100 não se utiliza a distribuição gama incompleta. Segundo Blain et al. (2007) o aumento do parâmetro  $\beta$  alonga a função de distribuição gama para a 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  $\beta$ ), a altura da função torna-se maior, fazendo com que a probabilidade de ocorrência do valor da moda aumente. O parâmetro  $\beta$  apresentou valores maiores para a precipitação, quando comparados aos valores da evapotranspiração referência (Tabela 3). Tal fato mostra que a maior probabilidade de ocorrência do valor da moda ocorre para os dados da ETo.

Tabela 3 – Valores dos parâmetros  $\beta$  e  $\alpha$  da distribuição Gama para as precipitação pluviométrica e ETo para Iguatu – CE

Mês	Precipitação pluviométrica		ETo	
	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	A
Janeiro	89,00	1,59	11,53	14,39
Fevereiro	66,66	2,47	2,30	65,74
Março	50,14	4,50	4,44	33,44
Abril	84,90	2,22	3,19	43,05
Mai	62,59	1,50	7,71	18,25
Junho	56,04	0,69	9,53	15,88
Julho	28,86	0,51	14,26	12,00
Agosto	13,68	0,64	14,66	13,20
Setembro	25,30	0,52	13,77	15,72
Outubro	36,13	0,46	15,56	14,12
Novembro	16,818	0,597	13,13	16,46
Dezembro	93,04	0,61	9,72	19,79

Os valores do parâmetro  $\alpha$  apresentados na Tabela 3, o mesmo indica a medida de assimetria dos dados analisados, ou seja, quanto maior o valor de  $\alpha$  menor o grau de assimetria. Pode-se observar que os valores de  $\alpha$  para precipitação pluviométrica foram maiores no período chuvoso (janeiro a maio). Este comportamento mostra o menor grau de assimetria na função gama, neste período. Resultados semelhantes foram encontrados por Botelho & Morais (1999). Segundo estes autores, isso pode ser explicado pela pronunciada assimetria nos períodos dos meses mais secos, visto que a assimetria é

inversamente proporcional a  $\alpha$ . De maneira geral, a ETo seguiu o mesmo comportamento da precipitação pluviométrica. No entanto os valores deste parâmetro foram maiores para a ETo quando comparados aos da precipitação pluviométrica, mostrando uma maior assimetria das chuvas para a cidade de Iguatu em relação à evapotranspiração de referência.

A Tabela 4 mostra as probabilidades da evapotranspiração de referência provável para Iguatu, nos níveis de 10 a 90% estimados pela distribuição gama, observa-se que o aumento no nível de probabilidade proporcionou uma menor lâmina de evapotranspiração provável, pois o aumento na confiabilidade da estimativa implica na redução do valor estimado. Os valores da evapotranspiração de referência mensal não ajustaram-se à distribuição gama segundo o teste de aderência do  $\chi^2$ , ao nível de 5% de significância, nos de meses abril, julho, agosto e novembro.

Tabela 4 - Probabilidades mensais de ocorrência da ETo para Iguatu-CE, estimadas pela Distribuição Gama

Mês	Probabilidade da ETo (mm)				
	10%	20%	30%	40%	50%
Janeiro	223,8	201,1	185,7	173,2	162,0
Fevereiro	175,6	166,7	160,4	155,2	150,5
Março	182,3	169,6	160,9	153,6	147,1
Abril	164,9	154,7	147,7	141,8	136,4
Mai	184,2	167,4	156,0	146,6	138,2
Junho	201,5	182,0	168,7	157,9	148,1
Julho	236,6	210,7	193,1	179,0	166,4
Agosto	264,1	236,3	217,5	202,3	188,6
Setembro	288,8	260,7	241,5	225,9	212,0
Outubro	297,1	266,8	246,2	229,5	214,5
Novembro	286,5	259,1	240,5	225,3	211,7
Dezembro	249,3	227,4	212,4	200,1	189,0

Mês	Probabilidade da ETo (mm)				
	60%	70%	75%	80%	90%
Janeiro	151,3	140,4	134,4	128,4	112,9
Fevereiro	145,8	140,9	138,2	135,3	127,9

**Estimativa do balanço hídrico para as condições climáticas Iguatu, Ceará, usando 84 modelo estocástico**

Março	140,7	134,1	130,4	126,6	116,7
Abril	131,2	125,8	122,7	119,6	111,4
Mai	130,1	121,8	117,2	112,5	100,5
Junho	138,8	129,3	124,1	118,8	105,1
Julho	154,3	142,2	135,5	128,7	111,6
Agosto	175,7	162,5	155,2	147,9	129,2
Setembro	198,6	184,9	177,4	169,8	150,2
Outubro	200,2	185,7	177,6	169,6	148,9
Novembro	198,6	185,3	177,9	170,5	151,2
Dezembro	178,4	167,5	161,4	155,3	139,4

A Tabela 5 apresenta as estimativas das precipitações prováveis mensais, os quais se ajustaram-se à distribuição gama segundo o teste de aderência do  $\chi^2$ , ao nível de 5% de significância, em todos os meses. Resultados semelhantes foram encontrados por Ribeiro et al. (2007) pesquisando o ajuste de função de distribuição probabilidade para dados de precipitação pluviométrica mensal para a região de Barbacena, MG.

De acordo com Bernardo et al. (2005), quando se estuda a precipitação provável para fins agrícolas, o nível de probabilidade mais recomendado é de 75%, ou seja, uma lâmina mínima a ser garantida para um determinado período em três a cada quatro anos. Analisando-se o total mensal da precipitação pluvial, percebe-se que, ao nível de 75% de certeza, só se pode contar com um total mensal em janeiro de 59 mm (Tabela 5), ou seja, três de cada quatro anos chove pelo menos este valor. Resultados semelhantes foram encontrados por Viana et al. (2005) pesquisando o comportamento da precipitação pluviométrica da cidade de Fortaleza.

Tabela 5 - Probabilidades mensais de ocorrência da chuva para Iguatu-CE, estimadas pela Distribuição Gama

Mês	Probabilidade da precipitação pluviométrica (mm)				
	10%	20%	30%	40%	50%
Janeiro	290,6	217,4	172,8	139,8	113,1

Fevereiro	304,9	240,3	199,7	168,8	143,0
Março	368,2	306,9	267,2	236,0	209,2
Abril	358,1	279,0	229,6	192,3	161,3
Mai	195,4	145,0	114,5	92,0	73,9
Junho	97,4	63,6	44,7	31,8	22,3
Julho	39,9	24,4	16,1	10,7	6,9
Agosto	22,5	14,5	10,0	7,0	4,8
Setembro	35,1	21,5	14,1	9,4	6,1
Outubro	46,0	27,4	17,6	11,3	7,1
Novembro	26,1	16,5	11,3	7,8	5,3
Dezembro	147,6	94,0	64,4	44,7	30,5

Mês	Probabilidade da precipitação pluviométrica (mm)				
	60%	70%	75%	80%	90%
Janeiro	90,1	69,3	59,0	49,6	29,5
Fevereiro	119,9	98,3	87,1	76,6	52,5
Março	184,5	160,3	147,4	134,9	104,5
Abril	133,8	108,2	95,2	82,9	55,2
Mai	58,3	44,4	37,6	31,4	18,2
Junho	15,0	9,4	6,9	5,0	1,8
Julho	4,2	2,3	1,6	1,0	0,3
Agosto	3,2	1,9	1,4	1,0	0,3
Setembro	3,7	2,0	1,4	0,9	0,2
Outubro	4,2	2,2	1,4	0,9	0,2
Novembro	3,4	2,0	1,4	1,0	0,3
Dezembro	19,8	11,8	8,4	5,8	1,8

Na Tabela 6 encontram-se os totais mensais da deficiência hídrica para os diferentes níveis probabilísticos. Quando se analisa o nível de 75% de probabilidade, recomendado para projetos agrícolas, observa-se que durante o primeiro semestre há uma necessidade de reposição hídrica de 75,4 mm em janeiro, 51,0 mm em fevereiro e de 23,4 mm em abril, 72,5 mm em maio e 113,1 mm em junho. Não há necessidade de reposição hídrica, neste nível probabilístico, somente no mês de março. Este mês é caracterizado pela maior quantidade de chuvas, sendo freqüente a ocorrência na região da zona de convergência intertropical (UVO et al., 1998). No segundo semestre, podem-se observar valores consideráveis (Tabela 5). Ao nível de 75% de probabilidade, há uma necessidade de reposição hídrica desde 132,5 mm no mês de julho até 176,5 mm em novembro, com totais de 335,4 mm no primeiro semestre, 967,7 mm segundo semestre e de 1303,1 mm ao longo do ano. Este comportamento pode ser explicado devido a dois fatores: um associado ao regime pluviométrico da região de Iguatu, onde há uma concentração das chuvas em apenas 4 quatros meses do ano (fevereiro a

maio) e a falta de chuvas significativas para os demais meses. O outro fator de extrema importância na análise do déficit hídrico, pode ser atribuído às altas taxa de demanda da evapotranspiração, sendo que a região de Iguatu está localizada próxima a linha do Equador, o que proporciona altas temperaturas, número de horas de brilho solar elevado, e conseqüentemente, uma maior quantidade de radiação líquida.

Tabela 6 - Déficit hídrico mensal esperado na região de Iguatu, CE, para diferentes níveis de probabilidade

Mês	Probabilidade de Déficit (mm)				
	10%	20%	30%	40%	50%
Janeiro	0,0	0,0	12,9	33,4	48,9
Fevereiro	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5
Março	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Abril	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Maio	0,0	2,3	7,5	12,5	23,0
Junho	39,4	62,9	77,1	84,5	93,1
Julho	166,4	165,6	161,2	154,9	149,1
Agosto	237,1	218,5	204,7	192,6	181,6
Setembro	253,3	238,8	227,0	216,1	205,5
Outubro	260,4	242,6	229,2	217,5	206,4
Novembro	260,4	242,6	229,2	217,5	206,4
Dezembro	101,7	133,4	148,0	155,4	158,6

Mês	Probabilidade de Déficit (mm)				
	60%	70%	75%	80%	90%
Janeiro	61,3	71,2	75,4	78,8	83,3
Fevereiro	25,9	42,6	51,0	58,8	75,4
Março	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2
Abril	0,0	13,3	23,4	34,2	56,2
Maio	48,0	65,5	72,5	78,0	82,3
Junho	107,7	112,9	113,1	112,1	103,4
Julho	145,0	137,5	132,5	127,1	111,4
Agosto	171,3	159,9	153,4	146,7	128,8
Setembro	194,6	182,8	175,9	168,8	149,9
Outubro	195,3	183,3	176,5	169,5	150,9
Novembro	195,3	183,3	176,5	169,5	150,9
Dezembro	158,6	155,7	153,0	149,4	137,5

Os valores totais mensais do excedente hídrico para os diferentes níveis

probabilísticos encontram-se na Tabela 7. Quando se analisa o nível de 75%, observa-se que durante o ano não há excedentes hídricos, isto pode estar associado ao comportamento neste nível de probabilidade, já que ocorrem baixos índices pluviométricos, sendo os mesmos menores que a demanda evapotranspirativa.

Tabela 7 – Excedente hídrico mensal esperado na região de Iguatu, CE, para diferentes níveis de probabilidade

Mês	Probabilidade de Excedentes (mm)				
	10%	20%	30%	40%	50%
Janeiro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fevereiro	96,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Março	185,9	127,2	45,6	0,0	0,0
Abril	193,1	124,2	81,9	46,6	0,0
Maio	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Junho	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Julho	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Agosto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Setembro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Outubro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Novembro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Dezembro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Mês	Probabilidade de Excedentes (mm)			
	60%	70%	80%	90%
Janeiro	0,0	0,0	0,0	0,0
Fevereiro	0,0	0,0	0,0	0,0
Março	0,0	0,0	0,0	0,0
Abril	0,0	0,0	0,0	0,0
Maio	0,0	0,0	0,0	0,0
Junho	0,0	0,0	0,0	0,0
Julho	0,0	0,0	0,0	0,0
Agosto	0,0	0,0	0,0	0,0
Setembro	0,0	0,0	0,0	0,0
Outubro	0,0	0,0	0,0	0,0
Novembro	0,0	0,0	0,0	0,0
Dezembro	0,0	0,0	0,0	0,0

Ainda pela Tabela 7 pode-se observar que no primeiro semestre, somente há excedentes hídricos, em nível

de probabilidades menores ou iguais a 40%. Este fato mostra a importância da agricultura irrigada na região de Iguatu, tendo em vista que somente em alguns meses do ano apresentam valores de excedente hídrico, nos diferentes níveis de probabilidade.

### **CONCLUSÕES**

A Distribuição Gama apresentou bom ajuste aos dados de precipitação pluviométrica e de evapotranspiração referência para Iguatu, podendo ser usada para estimativas da precipitação pluvial e da demanda evapotranspirativa provável mensal em diferentes níveis de probabilidade. Os altos valores de deficiência hídrica, nos diversos níveis de probabilidade, justificam o uso da irrigação na região.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop e evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 297p (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56)

ASSIS, F.N., ARRUDA, H.V., PEREIRA, A.R. **Aplicações de estatística à climatologia**. Pelotas : Editora Universitária, 1996. 161 p.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 2005. 611 p.

BLAIN, G. C.; PIEDADE, S. M. S.; CAMARGO, M. B. P.; GIAROLLA, A. Distribuição temporal da precipitação pluvial mensal observada no posto meteorológico do Instituto Agrônomo, em Campinas, SP. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.2, p.347-355, 2007

BOTELHO, V. A. V. A; MORAIS, A. R. Estimativas dos parâmetros da distribuição gama de dados pluviométricos do município de Lavras, estado de Minas

Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 3, p.697-706, jul./set., 1999.

CATALUNHA, M. J.; SEDIYAMA, G. C.; LEAL, B. G.; SOARES, C. P. B.; RIBEIRO, A. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10,n.1, p.153-162, 2002.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Lavras: UFLA, 2005. 654 p.

FIETZ, C. R.; URCHER, M. A.; FRIZZONE, J. A. Probabilidade de ocorrência de déficit hídrico na região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.558-562, 2001.

HAAN, C. T. **Statistical methods in hydrology**. 2. ed. Ames: Iowa State University, 1979. 377 p.

JUNQUEIRA JUNIOR, J. A.; GOMES, N. M.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M. precipitação provável para a região de Madre de Deus, alto rio Grande: modelos de probabilidades e valores característicos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 842-850, maio/jun., 2007.

MARTINS, G. S. **Balanço hídrico segundo Thornthwaite-Mather para alguns municípios do Estado do Ceará utilizando diferentes metodologias de cálculo da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>)**. Fortaleza, 2001. 122p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.

RIBEIRO, B. T.; AVANZI, J. C.; MELLO, C. R.; LIMA, J. M. SILVA, M. L. N. Comparação de distribuições de probabilidade e estimativa da precipitação provável para região de Barbacena, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1297-1302, set./out., 2007

SAAD, J.C.C.; BISCARO, G. A.;

DELMANTO JUNIOR, O.; FRIZZONE, J.; A. Estudo da distribuição da evapotranspiração de referência visando o

dimensionamento de sistemas de irrigação.

**Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 1, 2002

SAAD, J.C.C. **Estudo das distribuições de frequência da evapotranspiração de referência e da precipitação pluvial para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação**. Piracicaba, 1990. 124p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SILVA, F. C.; FIETZ, C. R.; FOLEGATTI, M. V.; PEREIRA, F. A. C. Distribuição e frequência da evapotranspiração de referência de Cruz das Almas, BA. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p.284-286, 1998

THOM, H. C. S. A note on the gamma distribution **Monthly Weaher Review**, Washington, v.86, n.4, p.117-122. 1958.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Centerton: Drexel 391-395, 2005.

Institute of Technology, 1955. 104p. Publications in Climatology, v.8, n.1

UVO, C. B.; REPELLI, C. A; ZEBIAK, S. E.; KUSHNIR, Y. The relationship between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil Monthly Precipitation, **Journal of Climate**, Boston, v.11, n.4, p.551-562, 1998.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. 2º. ed. Brasília: INMET, 2000. v. 1. 515 p.

VIANA, T. V. A.; CRISÓSTOMO JÚNIOR, R. R.; MOREIRA, L. G.; AZEVEDO, B. M.; VIANA, S. S. A. Análise estocástica dos déficits e dos excedentes hídricos mensais em Fortaleza, CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.36, n.3, p.