

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
CURSO DE AGRONOMIA

**CARACTERIZAÇÃO AGROCLIMÁTICA E PROBABILIDADE DE
PRECIPITAÇÃO PARA REGIÃO DE ILHA SOLTEIRA - SP.**

EVERALDO MARIANO BISPO

Orientador: Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez

Trabalho de Graduação apresentado à
Faculdade de Engenharia do Campus
de Ilha Solteira - UNESP, como parte
dos requisitos para obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

ILHA SOLTEIRA - SP
JULHO DE 2008

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA..... | 3 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 7 |
| 3.1 Local de Execução do Experimento | 7 |
| 3.2. Determinações dos parâmetros para o cálculo dos níveis de probabilidade | 9 |
| 3.3. Balanço Hídrico Mensal para região de Ilha Solteira | 11 |
| 3.3.1. Estimativa da Evapotranspiração (Método do Tanque Classe A) | 12 |
| 3.3.2. Estimativa da Evapotranspiração (Método do Penman-Monteith - Padrão FAO -1998)..... | 13 |
| 3.4. Aplicação do Teste de Kolmogorov-Smirnov | 15 |
| 3.4.1. Metodologia de cálculo para o teste de Kolmogorov-Smirnov | 15 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 17 |
| 4.1. Avaliação dos métodos de distribuição | 17 |
| 4.2. Determinação do balanço hídrico para região de Ilha Solteira | 22 |
| 4.2.1 Balanço hídrico mensal de 1967 a 2007 (Método do Tanque Classe A)..... | 22 |
| 4.2.2. Balanço hídrico mensal de 1994 a 2007 (Método do Penman-Monteith) | 26 |
| 4.2.3. Balanço hídrico mensal de 2007 (Método de Penman-Monteith - FAO-1998 | 29 |
| 4.3. Caracterização agroclimática de Ilha Solteira-SP (1967-2007 | 32 |
| 5. CONCLUSÕES | 35 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 36 |
| 7. ANEXOS | 40 |

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Ilustra as variáveis climáticas, e a metodologia utilizada para o calculo da evapotranspiração de referência, resultando na base dos dados.....14

| | |
|--|----|
| TABELA 2: Metodologia de cálculo das variáveis climáticas utilizados na equação..... | 14 |
| TABELA 3: Valores médios de precipitação para região de Ilha Solteira 1967 a 2007..... | 17 |
| TABELA 4: Probabilidade de ocorrência de precipitação mensal pelo método Empírico..... | 18 |
| TABELA 5: Período de retorno de uma precipitação para Ilha Solteira..... | 19 |
| TABELA 6: Valores de α e β corrigidos para Ilha Solteira-SP..... | 19 |
| TABELA 7: Probabilidades de ocorrência de precipitação pluvial para Ilha Solteira-SP..... | 20 |
| TABELA 8: Probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial média para Ilha Solteira-SP..... | 21 |
| TABELA 9: Balanço hídrico mensal para Ilha Solteira de 1967 a 2007 com evapotranspiração calculada pelo método do Tanque Classe A..... | 23 |
| TABELA 10: Balanço hídrico mensal para Ilha Solteira de 1994 a 2007 com a evapotranspiração calculada pelo método do Penman-Monteith..... | 26 |
| TABELA 11: Balanço hídrico mensal para Ilha Solteira para o ano de 2007 com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman-Monteith..... | 29 |
| TABELA 12: Valores médios de temperatura, umidade relativa , e velocidade do vento na região de Ilha Solteira de 1967 a 2007..... | 32 |
| TABELA 13: Valores médios da Radiação global, líquida, Radiação fotossinteticamente ativa (PAR), e a Insolação (INS), para Ilha Solteira entre agosto de 1991 a 2007..... | 34 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1: Localizações das estações agrometeorológicas..... | 7 |
| FIGURA 2: Área de monitoramento climático UNESP Ilha Solteira..... | 8 |
| FIGURA 3: Sistema de aquisição de dados agrometeorológicos..... | 9 |
| FIGURA 4: Tanque Classe A com poço tranqüilizador instalado em área gramada sobre o estrado de madeira..... | 12 |
| FIGURA 5: Gráfico do extrato do balanço hídrico para Ilha Solteira de 1967 a 2007.. | 24 |
| FIGURA 6: Os valores de precipitação, evapotranspiração potencial e a real..... | 24 |
| FIGURA 7: Gráfico representando a deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica..... | 25 |
| FIGURA 8: Gráfico do extrato do balanço hídrico para Ilha Solteira de 1994 a 2007.. | 27 |
| FIGURA 9: Valores de precipitação, evapotranspiração potencial e real..... | 28 |
| FIGURA 10: Gráfico representando a deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica..... | 28 |
| FIGURA 11: Gráfico do extrato do balanço hídrico para Ilha Solteira de 2007..... | 30 |
| FIGURA 12: Valores de precipitação, evapotranspiração potencial e real para Ilha Solteira 2007..... | 31 |
| FIGURA 13: Gráfico representando a deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica para Ilha Solteira ano 2007..... | 31 |

RESUMO

A caracterização agroclimática do município de Ilha Solteira assume grande importância no planejamento agrícola, pois permite tomar decisões quanto à época de semeadura e suas exigências hídricas. O valor absoluto da temperatura média anual é de 24,6°C, com mínima média de 17,3°C (julho) e máxima das médias de 30,5°C (outubro), a umidade relativa do ar média de 66,5%, com mínimo das médias absolutas de 33,3% (agosto), a evapotranspiração média de 4,7 mm/dia, sendo o mês mais alto de 5,5 mm/dia (dezembro), precipitação anual de 1229,9 mm/ano, apresentando o mês de janeiro como o mais chuvoso em 221,0 mm e o mais crítico sendo o mês de julho em 18,8 mm. Foram realizados estudos probabilísticos de ocorrência das precipitações prováveis ajustados as séries históricas mensais sendo comparado dois métodos de distribuição de freqüência (Empírico e Gama) sendo avaliados 9 diferentes níveis de probabilidade, para uma serie histórica de 41 anos de observação compreendido entre 1967 e 2007. Observou-se que o método de distribuição gama foi o mais adequado para séries históricas de períodos mensais para região de Ilha Solteira.

Palavras chaves: séries climatológicas, distribuição gama, precipitação.

SUMMARY

The characterization agroclimatic the municipality of Ilha Solteira assumes great importance in agricultural planning, because it allows decisions as to the time of sowing

and its water requirements. The absolute value of the average annual temperature is 24,6°C with minimum average of 17,3°C (July) and maximum averages of 30,5°C (October), the relative humidity average of 66,5%, with a minimum of absolute average of 33,3% (August), the evapotranspiration average of 4,7 mm/day, and the month higher by 5,5 mm/day (December), annual rainfall of 1229,9 mm/year, presenting the month of January as the most rainy in 221,0 mm and the most critical being the month of July at 18,8 mm. Studies were undertaken probabilistic of occurrence of precipitation likely adjusted the monthly historical series being compared two methods of distribution of frequency (empiric and gamma) is assessed 9 different levels of probability, to a historical series of 41 years of observation between 1967 and 2007. It was observed that the method of distribution gamma was the most appropriate for historical series of monthly periods to region of Ilha Solteira.

KEY WORDS: climatological series, distribution gamma, precipitation .

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos têm sido muito discutidas as possibilidades de mudança climática como consequência da emissão de gases de efeito-estufa pelas atividades humanas (BRUCE, 1990; BERLATO et. al., 1995). O aquecimento global tem como consequência direta a alteração na freqüência e distribuição das chuvas, aumentando a ocorrência de secas e de cheias (KARL et. al., 1996).

No mundo globalizado e de alta competição, torna-se necessário que a agricultura seja praticada de forma intensiva e com alta produtividade. Logo, é imprescindível a adoção da tecnologia da irrigação, pois ela possibilita alta produção, padronização e qualidade dos produtos (HERNANDEZ et. al., 2003).

O conhecimento do comportamento e da distribuição das precipitações fornece subsídio para determinar períodos críticos predominantes numa determinada região e condições de fornecer informações que visem reduzir as consequências causadas pelas flutuações do regime pluviométrico, seja pelo emprego da irrigação ou implantação de culturas adaptadas à sazonalidade deste regime (ANDRADE et. al., 1998; GOMIDE, 1998).

A irrigação tem como principal propósito suprir as necessidades hídricas das plantas, que não funciona isoladamente, mas conjugadas com outras práticas agrícolas que beneficiam a cultura, a sociedade em geral e o produtor em particular. É indispensável nas regiões onde a chuva natural não atende as necessidades das plantas durante todo o ciclo de sua vida ou em parte dele. Finalmente, permite não só ampliar o tempo de exploração da planta e o número de colheitas, como ainda melhorar a produção já existente (OLIVEIRA, 1995).

No Brasil, a quase totalidade dos projetos de irrigação visa suprir todas as necessidades hídricas da cultura, sem observar a contribuição da precipitação provável do período. Para o adequado planejamento da agricultura, no que se refere ao melhor aproveitamento do clima, é necessário o conhecimento das condições médias, a quantificação da variabilidade e da freqüência de ocorrência de determinados níveis

práticos das variáveis climáticas de interesse agrícola com base em uma série histórica de longo período (BERLATO, 1992).

O clima é um dos principais fatores no desenvolvimento e crescimento das culturas agrícolas e o conhecimento do seu comportamento determina a aptidão e o manejo adequado do solo para a agricultura. A ocorrência de períodos prolongados de estiagem, os veranicos, é comum no Brasil sendo registrado principalmente na região centro oeste. A região noroeste do Estado de São Paulo também apresenta longos períodos de estiagem, onde são registradas as maiores taxas de evapotranspiração do Estado. As perdas em produção variam com a intensidade e duração do estresse hídrico, bem como dependem do estádio de desenvolvimento da planta (COUTO et al, 1986).

Além do conhecimento da precipitação pluvial, é importante conhecer outra ferramenta bastante utilizada na agricultura, o balanço hídrico climático, o qual indica a disponibilidade de água para as plantas. Sendo assim, a metodologia mais utilizada para fins agroclimatológicos foi desenvolvida por Thornthwaite e Mather (1955) que consiste no balanço entre a precipitação e a evapotranspiração potencial para determinada capacidade de água disponível (CAD).

O presente trabalho teve como objetivo realizar a caracterização agroclimática e a determinação de diferentes níveis de probabilidade de ocorrência da precipitação provável para região de Ilha Solteira, SP.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O conhecimento das precipitações prováveis é de extremo interesse para o dimensionamento de vertedouros de barragens, de canais, galerias pluviais, bueiros e barragens de abastecimento de água (VILLELA e MATTOS, 1975) e para o planejamento agrícola e dimensionamento de sistema de irrigação complementar (BERNARDO et al, 2005).

A precipitação provável é a precipitação que apresenta probabilidade específica de ocorrência, baseada em uma longa série de dados (FRIZZONE, 1979).

A precipitação pluvial de um determinado local pode ser estimada, dentre outras formas, em termos probabilísticos, mediante modelos teóricos de distribuição ajustados a uma serie de dados. Os modelos geradores, após a comprovação de aderência dos dados à distribuição teórica, podem fornecer informações úteis para o planejamento de muitas atividades (FIETZ et al, 1997).

A variável hidrológica precipitação é considerada continua no espaço e no tempo, dentro da hidrologia estocástica, senda sua ocorrência intimamente relacionada à sua freqüência (HAAN, 1979; LANNA, 2001; RIGHETO, 1998). Desta forma, para se fazer estimativas de sua provável ocorrência, seu estudo deve ser feito por meio das distribuições probabilísticas contínuas, sendo as mais usadas, para estudos ligados à precipitação provável, Gama incompleta, Cadeia de Markov e Log-Normal (FRIZZONE, 1979; LANNA, 2001).

Segundo Cunha et al, (1997), um modelo que vem sendo bastante citado na literatura é o da Distribuição Gama. Para Krepper et al, (1989), seu uso se prende ao fato de que as precipitações, sob o ponto de vista estatístico, não são distribuídas uniformemente em torno do valor médio, mas sim, de maneira irregular, com grande desvio em relação a este valor médio. Vários estudos mostram que a Distribuição Gama representa adequadamente o comportamento da chuva, dentre os quais podem ser

citados aqueles realizados por Castro et al, (1996), Cunha et al, (1997) e Thom et al, (1958).

A falta de informações climáticas, e análise das características da distribuição das precipitações atmosféricas, além de técnicas baseadas nos critérios probabilísticos, que geralmente envolvem riscos, são algumas razões que levam o técnico a utilizar e projetar o sistema de irrigação total. Muitos autores recomendam dimensionar o projeto de irrigação levando-se em consideração a precipitação provável com certo nível de probabilidade.

Segundo Sediayama et al, (1978), as produções agrícolas são elementos probabilísticos que dependem dos elementos climáticos durante a época de crescimento de uma cultura. Dentro desse contexto e de acordo com Bruhn et al, (1980), a interação de componentes probabilísticos com modelos de outros componentes de um sistema agrícola deve fornecer um método para medir o risco de incerteza climática, que está relacionado a gerenciamentos alternativos.

O estudo das distribuições de variáveis, ao longo do tempo, como um meio de compreender os fenômenos meteorológicos, para determinar seus padrões de ocorrência e permitir uma previsibilidade razoável do comportamento climático de uma região, é uma ferramenta de grande valor para o planejamento e gestão de inúmeras atividades agropecuárias e humanas.

O adequado planejamento das atividades agropecuárias passa, de forma obrigatória, pelo conhecimento do comportamento probabilístico das variáveis do clima tais como temperatura, radiação solar, umidade, chuva e vento, devido a essas atividades ser bastante susceptíveis às condições do tempo.

As previsões probabilísticas auxiliam no planejamento e condução das atividades agropecuárias, ao racionalizar os procedimentos e evitar ou minimizar os possíveis prejuízos causados pela ação das intempéries.

Segundo Castro et al, (1994) utiliza-se, no Brasil, a precipitação média no dimensionamento de projetos agrícolas, o que constitui um risco para o produtor. De acordo com Bernardo et al, (2005) para minimização dos riscos não se deve trabalhar com probabilidades de ocorrência de chuva inferiores a 75 ou 80%. Entretanto, esses valores podem ser variáveis adotando-se um critério econômico, cujo nível de probabilidade esteja associando à redução na qualidade e quantidade de produção, decorrentes da deficiência hídrica pela falta de chuva, durante determinado período (JENSEN, 1983).

Frizzone et al, (1979) estimou as precipitações para a região de Viçosa-MG, em períodos de 5,10,15, e 30 dias, utilizando cinco modelos para o calculo de distribuição e freqüência. Os resultados mostraram que a distribuição gama incompleta pode ser usada para estudar a distribuição das precipitações em períodos de 5 a 30 dias na referida região.

Friedman e Janes (1957) estudaram estimativas de probabilidade de precipitação pluvial e evidenciaram o fato de que são necessários no mínimo 30 anos de dados para que o tamanho da amostra seja representativo.

Verificou-se que a Distribuição Gama foi adequada para estimar a probabilidade de precipitação em Viçosa - MG, enfatizando que os projetos de irrigação não devem ser baseados nos valores médios de precipitação porque estes, em geral, apresentaram menos de 50% de probabilidade de ocorrência. (CASTRO et al, 1996).

Segundo Galate (1987) efetuou o ajuste da distribuição gama incompleta aos dados de precipitação pluvial do município de Belém-PA, utilizando dados de 1953 a 1986 e os dados agrupados em dez períodos. Verificaram-se que a distribuição gama ajustou-se bem aos dados, o que comprova a eficiência da distribuição gama para a obtenção de estimativas de quantidades de chuva.

Precipitação provável é definida como sendo a precipitação mínima, associada a uma probabilidade específica de ocorrência (BERNARDO et al, 2005). Várias distribuições de probabilidades têm sido utilizadas para o estudo de precipitações prováveis, sendo sua adequabilidade função da série histórica e do período analisado. Quando se estudam períodos de um mês, ou menores, a distribuição gama têm sido consideravelmente aplicada. Sendo assim, estudaram a precipitação para Lavras - MG em períodos mensais, concluindo que as maiores precipitações prováveis foram encontradas nos meses de outubro a março (CASTRO NETO; SILVEIRA, 1981).

As grandes flutuações observadas na precipitação mensal sugerem que as precipitações médias não constituem um bom índice para análise da oferta pluviométrica, principalmente porque estas médias estão associadas a coeficientes de variação que chegam a ultrapassar 100% em alguns meses menos chuvosos. Portanto, a precipitação provável é de capital importância para o planejamento e dimensionamento de sistemas de irrigação. Neste caso, a precipitação provável refere-se à lâmina mínima com determinada probabilidade de ocorrência.

Segundo Souza e Rodrigues (1993), registros históricos de dados climáticos permitem a estimativas da precipitação e da evapotranspiração e, consequentemente o

balanço de água no solo pode ser utilizado para se ter previamente, as demandas total e diária de irrigação suplementar, em função da época de plantio da cultura. Com esses dados disponíveis, tem-se a possibilidade de planejar o plantio da cultura de maneira a utilizar a precipitação natural com maior eficiência.

Devido à grande demanda atual por recursos hídricos, faz-se necessário o conhecimento do ciclo da água dentro de uma bacia hidrográfica, principalmente das variáveis de precipitação e evapotranspiração (HORIKOSHI et al, 2007). Portanto, para saber se uma região apresenta deficiência ou excesso de água durante o ano, é indispensável comparar os dois elementos opostos do balanço hídrico: precipitação que fornece a umidade para o solo e a evapotranspiração que consome a umidade do solo (CAMARGO, 1971).

O balanço hídrico climatológico é uma das várias maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo. A partir do suprimento de água ao solo, via precipitação ou irrigação, da demanda atmosférica e da capacidade de água disponível, o balanço hídrico fornece estimativas da evapotranspiração real, da deficiência, do excedente hídrico e do armazenamento de água no solo. O balanço hídrico assim calculado torna-se um indicador climatológico da disponibilidade hídrica em uma região (PEREIRA et al, 1997), o que é fundamental no planejamento das atividades agrícolas.

Para Aguilar et al, (1986) os resultados de um balanço hídrico podem ser úteis no processo de zoneamento agroclimático de uma região, cálculo da demanda potencial de água das culturas irrigadas, definição de prioridades no planejamento de pesquisas ou, ainda, no conhecimento do regime pluviométrico.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Locais de Execução do Experimento

Os dados para a realização desse estudo foram fornecidos pelo Posto Meteorológico da Companhia Energética de São Paulo - CESP, cuja localização é o município de Ilha Solteira - SP, cujas coordenadas geográficas: 20°24'14" Latitude Sul, 51°21'14" Longitude Oeste e 335 m de altitude. Sendo esses dados fornecidos durante o período de 1967 a agosto de 1991. A partir desse período os dados climáticos passaram a ser fornecidos pela estação agrometeorológica automática instalada na Área Experimental de Agricultura Irrigada da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira UNESP, município de Ilha Solteira - SP, cujas coordenadas são 20°25'23" Latitude Sul, 51°21'13" Longitude Oeste e 335 m de altitude, conforme ilustra Figura 1.



FIGURA 1: Localizações das estações agrometeorológicas

O clima da região segundo a classificação de Koppën, subtropical úmido, Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seco no inverno (HERNANDEZ et al, 1995), caracterizado por um total de chuvas no mês mais seco de 13 mm e do mais chuvoso de 239,0 mm, por uma temperatura média do mês mais quente de 26,9°C e a do mês mais frio de 21,7°C, sendo a temperatura média anual de

25,1°C, a precipitação total anual de 1255,8 mm, e a umidade relativa média anual de 62,4% (BISPO et al, 2007). Na Figura 2, é ilustrada a área de monitoramento climático da Estação Agrometeorológica da UNESP Ilha Solteira.



FIGURA 2: Área de monitoramento climático UNESP Ilha Solteira

O sistema de aquisição de dados agrometeorológicos é composto de um datalogger (Campbell Scientific CR - 23X) com os seguintes sensores: temperatura e umidade do ar (Campbell HMP 45C), radiação global (LI-COR200SZ), radiação líquida (Campbell Q 7.1), pluviômetro (Campbell CSI Model CS-700-L), velocidade e direção do vento (modelo 03001 Wind Sentry), nível do tanque classe A (Lyns modelo 255 - 100), fluxo de calor no solo (Campbell SCI - Model HFT 3), pressão atmosférica (Campbell SCI - modelo CS105), e radiação fotossinteticamente ativa (LI-COR - modelo LI190SB-L), conforme a ilustra a Figura 3.



FIGURA 3: Sistema de aquisição de dados agrometeorológicos

A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método Penman-Monteith (ALLEN et al, 1998) e pelo método do Tanque Classe A. O tempo de varredura é de 10 segundos e integração horária dos dados e registro dos eventos máximos e mínimos de cada dia, que compõem o banco de dados agrometeorológicos da Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP Ilha Solteira.

As observações utilizadas neste trabalho referem-se às temperaturas diárias em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (%), evapotranspiração (mm/dia), radiação global ($\text{MJ/m}^2.\text{dia}^{-1}$), radiação líquida ($\text{MJ/m}^2.\text{dia}^{-1}$), radiação fotossinteticamente ativa ($\text{mmoles.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), velocidade do vento (m/s), direção do vento ($^{\circ}$), e a precipitação em milímetros (mm). A série histórica destas variáveis abrangem o período de 1 de janeiro de 1967 a 31 de dezembro de 2007 num total de 41 anos.

3.2. Determinações dos parâmetros para o cálculo dos níveis de probabilidade

Na distribuição empírica as probabilidades com que serão igualadas ou superadas as precipitações pluviais foram calculadas pelo método de kimbal. As probabilidades Empíricas foram determinadas utilizando a seguinte expressão:

$$F = \frac{M}{N + 1}$$

onde: F é a freqüência, M o número de ordem e N o número de anos de observação.

O tempo de recorrência (**T**) foi calculado pela seguinte fórmula:

$$T = \frac{1}{F}$$

A função densidade da distribuição Gama é representada por:

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

onde para o intervalo $0 = x < 8$, $a > 0$, em que:

- β - parâmetro de escala (mm);
- a - parâmetro de forma (adimensional);
- e - base do logaritmo neperiano;
- x - total de precipitação (mm);
- Γ - função Gama;

O grande problema no uso de qualquer procedimento estatístico para aplicação da distribuição Gama ao ajuste de dados climatológicos está na estimativa de seus parâmetros, um dos métodos mais comuns é o método dos momentos que consiste em igualar a média e a variância da amostra à média e a variância da população originando duas equações que são facilmente resolvidas:

$$\alpha = \frac{x^{-2}}{S^2}$$

$$\beta = \frac{S^2}{x}$$

em que:

x = precipitação média do período (mm)

S^2 = variância da amostra.

Outro método importante para estimar os parâmetros da distribuição Gama é o método da máxima verossimilhança, este método produz estimativas eficientes de parâmetros estatísticos. Thom (1958), usando este método, derivou as equações para estimativa dos parâmetros da distribuição Gama através da resolução da equação quadrática.

$$12A\alpha^2 - 6\alpha - 1 = 0$$

sendo,

$$A = \ln(x) - \frac{1}{N \sum_{i=1}^n \ln(x_i)}$$

em que:

x_i = altura de precipitação (mm)

N = número de ocorrência de precipitação

\ln = logaritmo natural

x = média das precipitações

Portanto, resolvendo essa equação para raiz única pertinente de a , encontra-se como estimativa para o parâmetro de forma.

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + (4/3)A}}{4A}$$

Em seguida encontra-se a estimativa para o parâmetro de escala.

$$\beta = \frac{x}{\alpha}$$

Sendo assim, foram ajustados os parâmetros a e β da distribuição gama aos valores mensais da precipitação para o município de Ilha Solteira. Foi utilizado um fator de correção para os valores encontrados inferiores a 5,6, sendo esses encontrados na equação referente ao valor de A , descrito por Thom (1958), por meio de um modelo matemático.

Para estimativa dos valores de precipitação provável, utilizou-se a planilha eletrônica Excel, a qual retorna o inverso da distribuição acumulada gama, a partir dos valores de a , β e os níveis de probabilidade de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90%.

3.3. Balanço Hídrico Mensal para região de Ilha Solteira

Para determinação do balanço hídrico para região de Ilha Solteira foi utilizado o método de Thornthwaite e Mather (1955), através do programa BHnorm, elaborado numa planilha eletrônica por Rolim et al, (1998) e Sentelhas et al, (1999), adotando-se uma capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm, sendo este valor considerado padrão para região.

3.3.1. Estimativa da Evapotranspiração (Método do Tanque Classe A)

O método do Tanque Classe A para estimativa da evapotranspiração de referência foi desenvolvida para se ter uma forma prática de estimativa de ETo. O tanque é de pequena dimensão, com as paredes laterais expostas diretamente à radiação solar, e a água no tanque não oferece impedimento ao processo evaporativo, conforme a ilustra a Figura 4. Para o cálculo por este método são utilizados os seguintes dados agrometeorológicos como: evaporação do Tanque Classe A (mm/dia), velocidade do vento a 2 metros de altura (m/s), umidade relativa do ar (%). O valor diário do tanque (ECA, mm/dia) precisa ser corrigido por um fator de ajuste, denominado de coeficiente do tanque (Kp), para ser ter a ETo correspondente, sendo calculada pela equação

$$ETo = Kp \cdot ECA$$

sendo: ETo: evapotranspiração de referência (mm/dia)

Kp: coeficiente do tanque

ECA: evaporação do Tanque Classe A (mm/dia)



FIGURA 4: Tanque Classe A com poço tranqüilizador instalado em área gramado sobre o estrado de madeira.

O valor de Kp, sempre menor que 1, é função da velocidade do vento e da umidade relativa do ar (adveção de calor sensível), e do tamanho da bordadura, vegetada ou não, circunvizinha ao tanque.

3.3.2. Estimativa da Evapotranspiração (Método do Penman-Monteith - Padrão FAO -1998)

Este é um método micrometeorológico, descrito por Monteith (1965), que foi adaptado por Allen et al, (1989) para estimativa da evapotranspiração de referência. Atualmente, este é o método-padrão da FAO (ALLEN et al, 1994, 1998), sendo apresentado nas Tabelas 1 e 2. A metodologia utilizada no cálculo da evapotranspiração de referência, onde a ETP (mm/d^{-1}) é dada pela seguinte fórmula:

$$ETP = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \lambda \frac{900}{T + 273} U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \lambda(1 + 0,34U_2)}$$

onde:

- ETP = evapotranspiração de referência (mm.dia^{-1});
- Rn = radiação líquida na superfície das culturas ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$);
- G = densidade do fluxo de calor do solo ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$);
- T = temperatura média a 2 m do solo ($^{\circ}\text{C}$);
- U₂ - velocidade do vento a 2 m do solo (m/s);
- e_s = pressão de saturação de vapor (kPa);
- e_a = pressão atual de vapor (kPa);
- e_s-e_a = déficit de pressão de saturação de vapor (kPa);
- Δ = declive da curva de pressão de vapor (kPa. $^{\circ}\text{C}^{-1}$);
- λ = constante psicrométrica (kPa. $^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Na Tabela 1 são apresentadas as variáveis climáticas coletadas e armazenadas na Estação Agrometeorológica da UNESP Ilha Solteira que são utilizadas para o cálculo da evapotranspiração de referência pelo método do Penman Monteith.

TABELA 1. Variáveis climáticas, e a metodologia utilizada para o cálculo da evapotranspiração de referência, resultando na base dos dados.

| VARIÁVEL CLIMÁTICA | BASE DE DADOS | METODOLOGIA |
|---------------------|---------------|-------------------------------|
| Temperatura | Média diária | $T = \frac{\sum T_h}{n}$ |
| Umidade Relativa | Média diária | $UR = \frac{\sum UR_h}{n}$ |
| Radiação Global | Total diário | $Rg = \sum Rg_h$ |
| Radiação líquida | Total diário | $Rn = \sum Rn_h$ |
| Pressão Atmosférica | Total diário | $P = \frac{\sum Patm_h}{n}$ |
| Velocidade do vento | Média diária | $V_2 = \frac{\sum u_{2h}}{n}$ |
| Precipitação | Soma diária | $P = \sum Prec_d$ |

T = temperatura média; UR = umidade relativa média; R_s = radiação global; R_n = radiação líquida horária; Patm = pressão atmosférica; v_{2h} = velocidade do vento (à 2 metros); P = precipitação diária

Na Tabela 2, são apresentadas as metodologias de cálculo para as variáveis climáticas utilizadas para determinação da evapotranspiração pelo método do Penman Monteith, segundo Allen et al,1998.

TABELA. 2: Metodologia de cálculo das variáveis climáticas utilizados na equação.

| VARIÁVEL CLIMÁTICA | METODOLOGIA DE CÁLCULO |
|---|---|
| Média da Pressão Atual de Vapor | $e_a = e^o(T) \frac{RH}{100}$ |
| Média da pressão de saturação de vapor | $e^o(T) = \frac{e^o(T_{(máx)}) + e^o(T_{(mín)})}{2}$ |
| Média horária da constante psicrométrica | $\gamma = \frac{c_p P_a}{\varepsilon \lambda} = 0,665 \times 10^{-3} \cdot Pa$ |
| Declive da curva de pressão de saturação de vapor | $\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 e^{\left(\frac{17,27T}{T+237,3} \right)} \right]}{(T+237,3)^2}$ |

$e^o(T)$ = pressão de saturação de vapor; γ = constante psicrométrica; c_p = calor específico a pressão constante; e = relação peso molecular de vapor de água/ar seco e λ = calor latente de vaporização.

3.4. Aplicação do Teste de Kolmogorov-Smirnov

Para verificar o ajuste dos dados pluviométricos mensais à função de distribuição normal, foi utilizado o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, considerando-se 5% de probabilidade. O Teste de Kolmogorov-Smirnov foi aplicado para testar se a característica estudada da amostra é oriunda de uma distribuição normal. Sendo o teste baseado na maior diferença absoluta entre a freqüência acumulada observada e a estimada pela distribuição normal.

3.4.1. Metodologia de cálculo para o teste de Kolmogorov-Smirnov

1º Passo: Formulação das hipóteses

H_0 : A característica em estudo da amostra ou os erros (desvios) segue a distribuição normal.

H_1 : A característica em estudo da amostra ou os erros (desvios) não segue a distribuição normal.

2º Passo: Escolha da significância a

Neste estudo foi adotado um nível de significância de 0,05 %.

3º Passo: Estatística apropriada

A estatística apropriada do teste é baseada na maior diferença absoluta entre a função de distribuição normal acumulada, $F(z_i)$, e a freqüência relativa observada acumulada e ajustada, $F_{0,5}$.

As expressões encontram-se a seguir:

$$D_{\max} = g_{\max} + \frac{1}{2n}$$

onde:

g_{\max} : maior valor calculado de g ;

n : tamanho da amostra ou número de parcelas.

Sendo:

$$g = |F_{(zi)} - F_{0,5}|$$

$$F_{0,5} = \frac{(i - 0,5)}{n},$$

onde:

$F_{(zi)}$: função de distribuição normal acumulada;

$F_{0,5}$: freqüência relativa observada acumulada e ajustada;

i: número da amostra;

n: tamanho da amostra ou número de parcelas

4º Passo: Conclusão

Para $n=100$, quando o valor $D_{\text{máx}}$ for maior que o valor crítico tabelado D_t ($D_{\text{máx}} > D_t$), para um tamanho de amostra n, d = 0,5 e significância a (Tabela t), a hipótese H_0 é rejeitada e conclui-se que a característica em estudo da população não segue a distribuição normal. Por outro lado, se $D_{\text{máx}}$ for menor que o valor crítico tabelado ($D_{\text{máx}} < D_t$), a hipótese H_0 é aceita e conclui-se que a característica em estudo da população segue a distribuição normal.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliação dos métodos de distribuição

Na Tabela 3 pode-se observar os valores das médias mensais de precipitação para o município de Ilha Solteira no período de 1967 a 2007. Diante de uma série histórica de 40 anos de dados de precipitação, verifica-se uma variabilidade muito grande na distribuição de precipitação no município, por exemplo: durante o mês de janeiro, considerado o mais chuvoso, ocorreram precipitações mensais que variaram de 23,3 mm(1992) até 540,4 mm (2007), e no mês de julho, considerado o menos chuvoso, as precipitações mensais variaram de 0 a 78,3 mm (1971), apresentando período de alta concentração de chuva durante a estação de verão, e um longo período de estiagem entre as estações de outono/inverno.

TABELA 3: Valores médios de precipitação para região de Ilha Solteira 1967 a 2007

| Meses | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Média | 221,0 | 162,5 | 137,7 | 77,8 | 61,0 | 28,5 | 18,8 | 24,8 | 65,6 | 105,2 | 141,4 | 185,7 |
| D.P | 109,0 | 95,8 | 79,6 | 49,2 | 38,6 | 40,0 | 21,6 | 32,0 | 72,0 | 52,2 | 68,7 | 83,0 |
| CV | 49,3 | 59,0 | 57,8 | 63,2 | 63,3 | 140,2 | 114,7 | 128,9 | 47,2 | 49,6 | 48,6 | 44,7 |
| MAX | 540,4 | 374,7 | 383,7 | 208,1 | 138,9 | 205,4 | 78,3 | 107,5 | 161,0 | 218,7 | 294,8 | 347,9 |
| MIN | 23,3 | 0,0 | 23,1 | 0,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,7 | 22,9 | 18,5 | 32,1 |
| Erro | 17,2 | 15,2 | 12,6 | 7,8 | 6,1 | 6,3 | 3,4 | 5,1 | 7,5 | 8,3 | 10,7 | 13,1 |

D.P: desvio padrão; C.V: Coeficiente de variação; MAX: máxima; MIN: mínima; Erro: Erro padrão.

A precipitação anual média é 1229,9 mm, sendo registrada a maior precipitação anual de 1604,9 mm (2000) e a menor precipitação anual de 766,0 mm (1985), apresentando os meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, e março com valores de médias acima de 100 mm de precipitação, sendo esse período responsável por 78% da média histórica anual. Este percentual demonstra a necessidade de um planejamento dimensional dos sistemas de irrigação, procurando um melhor aproveitamento racional dos recursos hídricos do município.

Podemos verificar os coeficientes de variação das médias mensais e o desvio padrões para os anos (1967-2007) e seus respectivos meses, observando uma grande variação durante esse período de análise da série histórica. O desvio-padrão variou entre 109,0 e 52,18, demonstrando uma oscilação considerável quanto à utilização dos valores médios mensais para a agricultura de sequeiro. Esses valores apresentaram seus maiores índices durante os meses mais chuvosos, mas quando comparados os valores do coeficiente de variação registraram os menores índices de variação.

Na Tabela 4, encontra-se os valores da distribuição de probabilidade pelo método empírico, juntamente o período de retorno da precipitação pluvial mensal para o município de Ilha Solteira-SP. O método empírico consiste na utilização de toda base de dados histórica de precipitação, para elaboração dos cálculos de período de retorno e os níveis de ocorrência de precipitação mínima provável mensal para região de Ilha Solteira,

TABELA 4: Probabilidade de ocorrência de precipitação mensal pelo método Empírico.

| Meses | Probabilidade de chuva (mm) Ilha Solteira-SP | | | | | | | | |
|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |
| Jan | 363,2 | 309,2 | 281,1 | 239,8 | 203,2 | 190,1 | 158,2 | 128,3 | 99,5 |
| Fev | 321,3 | 263,4 | 207,4 | 173,5 | 137,0 | 129,9 | 105,5 | 93,2 | 37,0 |
| Mar | 227,3 | 202,5 | 169,9 | 144,4 | 136,9 | 107,7 | 95,8 | 58,7 | 38,0 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Abr | 160,4 | 126,1 | 88,3 | 75,2 | 65,4 | 58,0 | 49,8 | 40,0 | 27,1 |
| Mai | 109,1 | 91,2 | 86,1 | 78,0 | 67,7 | 49,2 | 41,0 | 20,0 | 5,7 |
| Jun | 96,9 | 41,2 | 27,6 | 24,1 | 18,4 | 13,7 | 7,1 | 0,9 | 0,0 |
| Jul | 51,5 | 37,4 | 27,2 | 13,6 | 11,5 | 7,3 | 3,7 | 1,6 | 0,0 |
| Ago | 97,5 | 48,9 | 34,1 | 21,7 | 11,2 | 6,3 | 0,5 | 0,0 | 0,0 |
| Set | 138,6 | 117,6 | 94,2 | 71,1 | 60,9 | 50,6 | 30,3 | 18,3 | 8,0 |
| Out | 174,2 | 157,2 | 147,6 | 128,5 | 101,7 | 74,1 | 69,0 | 56,3 | 32,5 |
| Nov | 252,0 | 203,0 | 183,9 | 159,1 | 144,6 | 122,0 | 111,8 | 80,5 | 34,1 |
| Dez | 325,9 | 242,9 | 214,1 | 198,3 | 195,2 | 165,3 | 144,7 | 94,3 | 83,8 |

Os dados resultantes pelo método de distribuição empírica para precipitação pluvial mínima mensal provável foram rejeitados para os meses de março e agosto, quando comparados os níveis de 10,20,30,40,50,60,70,80, e 90% estimados pelo método em estudo, quando aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov dos diversos níveis de probabilidade de ocorrência de precipitação. Portanto não seria recomendável a utilização desse método para região, apesar da facilidade de manuseio deste tipo de tabela para determinar a precipitação mensal provável para o município. Na Tabela 5 pode-se encontrar o período de retorno de uma determinada precipitação para região de Ilha Solteira, onde verifica-se pelo número da ordem o seu período de retorno. Como exemplo, pode-se citar o período de retorno de uma precipitação de ordem 4, para o mês de janeiro com precipitação de 363,2 mm sendo seu período de retorno dessa precipitação de 10,2 anos, conforme o anexo 1.

TABELA 5: Período de retorno de uma precipitação para Ilha Solteira

| N | P>Pm | P<Pm | T |
|----|------|------|-------|
| 4 | 0,10 | 0,90 | 10,25 |
| 8 | 0,20 | 0,80 | 5,13 |
| 12 | 0,29 | 0,71 | 3,42 |
| 16 | 0,39 | 0,61 | 2,56 |
| 20 | 0,49 | 0,51 | 2,05 |
| 24 | 0,59 | 0,41 | 1,71 |
| 28 | 0,68 | 0,32 | 1,46 |
| 33 | 0,80 | 0,20 | 1,24 |
| 37 | 0,90 | 0,10 | 1,11 |

N: número da ordem; P: precipitação; Pm: Precipitação média; T: tempo de retorno.

O cálculo de estimativa para precipitações prováveis pela distribuição gama é mais complexo em relação o método de distribuição empírica, sendo as variáveis utilizadas no cálculo devem ser ajustadas aos parâmetros da Distribuição Gama

apresentando assim uma maior confiabilidade nos valores de precipitação provável para o município de Ilha Solteira. Na Tabela 6, são apresentadas as estimativas dos parâmetros α e β devidamente ajustada para o cálculo da Distribuição Gama.

TABELA 6: Valores de α e β corrigidos para Ilha Solteira-SP

| CORREÇÃO DO ALFA | | |
|-------------------------|-------------|--------------|
| Meses | Alfa | Beta |
| JAN | 2,97 | 74,51 |
| FEV | 2,80 | 58,00 |
| MAR | 2,52 | 54,73 |
| ABR | 2,09 | 37,17 |
| MAI | 3,11 | 19,60 |
| JUN | 1,48 | 19,24 |
| JUL | 1,79 | 10,51 |
| AGO | 2,15 | 11,53 |
| SET | 1,78 | 36,94 |
| OUT | 2,84 | 37,02 |
| NOV | 2,68 | 52,84 |
| DEZ | 3,36 | 55,27 |

Para utilização da Distribuição Gama os valores dos parâmetros não podem ultrapassar a 100, para a determinação do cálculo para estimativa de precipitações mensais prováveis.

De acordo com a Tabela 6, verificou-se que nos meses de maiores precipitações as estimativas de α (parâmetro de forma) apresentadas foram maiores quando comparado com os meses menos chuvosos, como em junho, julho e agosto. As estimativas de α variaram de 3,36 (dezembro) a 1,48 (julho), sendo assim, podemos verificar certa assimetria nos meses mais chuvosos. Analisando o parâmetro de escala β , podemos observar que os maiores valores foram encontrados durante os meses de maior incidência de chuva, com estimativas de 10,51 (julho) até 74,5 (janeiro), apresentando uma maior amplitude nos meses mais chuvosos.

Portanto, podemos verificar de um modo geral que os meses de maiores precipitações como: outubro, novembro, dezembro e janeiro, as estimativas do parâmetro de forma (α) apresentaram os maiores valores que os obtidos durante os meses menos chuvosos, como junho, julho e agosto. Isso poderia ser explicado pela pronunciada assimetria que no período dos meses mais secos é inversamente proporcional a α . Para os valores estimados para β foram observados os maiores valores relacionados aos períodos de maior precipitação, semelhante ao encontrado pelo Vivaldi (1973).

Na Tabela 7 encontramos as probabilidades de precipitação pluvial mensal provável para o município de Ilha Solteira, sendo estes valores calculados aos níveis de 10,20,30,40,50,60,70,80 e 90% de acordo com a Distribuição Gama.

TABELA 7: Probabilidades de ocorrência de precipitação pluvial para Ilha Solteira-SP

| Meses | Probabilidade de chuva (mm) Ilha Solteira-SP | | | | | | | | |
|--------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |
| Jan | 393,0 | 315,6 | 266,4 | 228,7 | 196,7 | 168,0 | 140,5 | 112,5 | 80,6 |
| Fev | 292,6 | 233,7 | 196,4 | 167,7 | 143,7 | 122,0 | 101,4 | 80,6 | 57,0 |
| Mar | 254,0 | 200,6 | 167,0 | 141,4 | 120,0 | 100,9 | 82,8 | 64,8 | 44,6 |
| Abr | 149,7 | 115,9 | 94,8 | 79,0 | 65,9 | 54,3 | 43,6 | 33,0 | 21,6 |
| Mai | 107,3 | 86,6 | 73,4 | 63,2 | 54,6 | 46,8 | 39,3 | 31,7 | 23,0 |
| Jun | 59,6 | 44,2 | 34,8 | 28,0 | 22,4 | 17,7 | 13,5 | 9,5 | 5,5 |
| Jul | 37,5 | 28,5 | 23,0 | 18,8 | 15,4 | 12,5 | 9,8 | 7,2 | 4,5 |
| Ago | 47,4 | 36,8 | 30,2 | 25,2 | 21,1 | 17,4 | 14,0 | 10,7 | 7,1 |
| Set | 131,1 | 99,5 | 80,1 | 65,6 | 53,8 | 43,5 | 34,1 | 25,0 | 15,5 |
| Out | 188,8 | 151,0 | 127,0 | 108,6 | 93,1 | 79,2 | 65,9 | 52,5 | 37,2 |
| Nov | 257,2 | 204,4 | 171,1 | 145,6 | 124,2 | 105,0 | 86,9 | 68,6 | 48,0 |
| Dez | 321,6 | 261,4 | 222,8 | 193,0 | 167,7 | 144,7 | 122,6 | 99,8 | 73,4 |

Observando-se as precipitações mínimas prováveis, estimadas pela Distribuição Gama encontraram ao nível de 80% de probabilidade os seguintes resultados: 112,5; 80,6; 64,8; 33,0; 31,7; 9,5; 7,2; 10,7; 25,0; 52,5; 68,6; 99,8. Podemos analisar neste caso um decréscimo na precipitação nos três primeiros meses durante a estação de alta pluviosidade, seguido de um longo período de estiagem na região entre os meses de abril a setembro, retomando o período de acúmulo de precipitação nos meses seguintes. Alguns autores consideram uma chuva significativa quando registrado um volume acima de 50 mm/mês. Sendo assim, visando reduzir os riscos no dimensionamento e o planejamento de uma agricultura racional, utilizamos a probabilidade de ocorrência acima do nível de 75%.

Na Tabela 8, são apresentadas as probabilidades de ocorrência de precipitação em função dos valores médios históricos para região de Ilha Solteira. Segundo Marquelli et al, (1988), citados por Castro (1996), a ocorrência do valor médio de precipitação pluvial mensal se dá entre os níveis de 40 e 50% de probabilidade, esses níveis são inferiores em relação ao nível de 75% de probabilidade, geralmente recomendado na elaboração de projetos agrícolas.

TABELA 8: Probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial média para Ilha Solteira-SP.

| MÊS | Precipitação | |
|-----|--------------|------|
| | Média | (%) |
| Jan | 221,0 | 38,7 |
| Fev | 162,5 | 38,8 |
| Mar | 137,7 | 39,0 |
| Abr | 77,8 | 39,4 |
| Mai | 61,0 | 38,6 |
| Jun | 28,5 | 40,8 |
| Jul | 18,8 | 39,9 |
| Ago | 24,8 | 39,3 |
| Set | 65,6 | 40,0 |
| Out | 105,2 | 38,7 |
| Nov | 141,4 | 38,8 |
| Dez | 185,7 | 38,5 |

Portanto, analisando os resultados de probabilidade de ocorrência de precipitação em função dos valores médios apresentaram-se próximos a 40%, sendo estes valores próximos aos confirmados pelos autores.

O teste de Kolmogorov-Smirnov mostrou que houve diferença, ao nível de 5%, quando este aplicado aos valores da Distribuição Empírica e Distribuição Gama.

Tendo conhecimento dessas informações referente à precipitação pluvial, acrescidas dos conhecimentos fenológicos de cada cultura é possível realizar um planejamento mais eficiente do manejo de irrigação, adequando o ciclo da cultura aos períodos mais favoráveis ao seu pleno desenvolvimento como a época de semeadura, conhecimento de períodos de estiagem prolongados visando amenizar o déficit hídrico, e consequentemente perdas na produtividade agrícola.

4.2. Determinação do balanço hídrico para região de Ilha Solteira

O balanço hídrico foi elaborado empregando o método Thornthwaite e Mather (1955) através do programa "BHNORM" elaborado em planilha eletrônica por Rolim et al, (1998) é uma das diversas maneiras de se monitorar o armazenamento de água no solo. Partindo-se de um suprimento natural de água no solo, simbolizado pelas chuvas, e demanda atmosférica, simbolizada pela evapotranspiração potencial, e adotando-se neste caso uma capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm. Sendo este mesmo valor utilizado no balanço hídrico para Ilha Solteira por Centurion (1982) e Lemos Filho (1995), considerado como padrão.

Os resultados apresentados são os balanços hídricos referente ao período desde o inicio do monitoramento do posto meteorológico da CESP (1967-1991) e até os dias atuais pela Área de Hidráulica e Irrigação UNESP Ilha Solteira.

Para a determinação do balanço hídrico visando uma comparação ao longo da série históricas de dados, nos quais determinou-se o balanço hídrico pelos métodos empíricos do Tanque Classe A, e Evapotranspiração Penman Monteith, tendo em vista que os outros trabalhos do gênero utilizaram o método empírico do Tanque Classe A para determinação do balanço hídrico ao longo dos anos.

4.2.1 Balanço hídrico mensal de 1967 a 2007 (Método do Tanque Classe A)

O resultado do balanço hídrico é apresentado na Tabela 9 e em seguida são apresentadas as Figuras 5 a 7 com extrato do balanço hídrico permitindo uma visualização do excedente, déficit hídrico e a variação de armazenamento de água no solo e as variáveis climáticas tais como: precipitação, e a evapotranspiração.

TABELA 9: Balanço hídrico mensal para Ilha Solteira de 1967 a 2007 com evapotranspiração calculada pelo método do Tanque Classe A.

| MESES | P mm | ETP mm | P-ETP mm | NEG-AC | ARM mm | ETR mm | DEF mm | EXC mm |
|--------|---------|-----------|-------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Jan | 221,0 | 117,7 | 103,3 | 0,0 | 100,0 | 117,7 | 0,0 | 38,7 |
| Fev | 162,5 | 130,8 | 31,7 | 0,0 | 100,0 | 130,8 | 0,0 | 31,7 |
| Mar | 137,7 | 138,5 | -0,8 | -0,8 | 99,2 | 138,5 | 0,0 | 0,0 |
| Abr | 77,8 | 127,1 | -49,3 | -50,1 | 60,6 | 116,4 | 10,7 | 0,0 |
| Mai | 61,0 | 100,4 | -39,4 | -89,6 | 40,8 | 80,7 | 19,7 | 0,0 |
| Jun | 28,5 | 100,8 | -72,3 | -161,9 | 19,8 | 49,5 | 51,3 | 0,0 |
| Jul | 18,8 | 114,8 | -96,0 | -257,9 | 7,6 | 31,0 | 83,8 | 0,0 |
| Ago | 24,8 | 138,1 | -113,3 | -371,2 | 2,4 | 29,9 | 108,2 | 0,0 |
| Set | 65,6 | 144,4 | -78,8 | -450,0 | 1,1 | 66,9 | 77,5 | 0,0 |
| Out | 105,2 | 155,9 | -50,7 | -500,7 | 0,7 | 105,6 | 50,3 | 0,0 |
| Nov | 141,4 | 158,2 | -16,9 | -517,6 | 0,6 | 141,5 | 16,8 | 0,0 |
| Dez | 185,7 | 150,9 | 34,9 | -103,8 | 35,4 | 150,9 | 0,0 | 0,0 |
| TOTAIS | 1230,0 | 1577,7 | -347,7 | - | 468,2 | 1159,5 | 418,2 | 70,4 |
| MÉDIAS | 102,5 | 131,5 | -29,0 | - | 39,0 | 96,6 | 34,8 | 5,9 |

P = precipitação; ETP = evapotranspiração potencial; ETR = evapotranspiração real; NEG-AC = negativo acumulado; ARM = armazenamento de água no solo; DEF = deficiência hídrica; EXC = excedente hídrico

Quando comparado os valores de evapotranspiração obtidos por Lemos Filho (1995) com o presente trabalho verificou-se um aumento expressivo de 214,5 mm/ano nos últimos 14 anos.

Pode-se observar que nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro, apresentaram aumento na evapotranspiração o ocasionando um aumento do déficit hídrico de 159,4 mm/ano, e uma redução no excedente hídrico de 57,0 mm/ano quando comparado valores de estudos anteriores.

A precipitação ao longo dos anos não apresentou alterações expressivas no regime hídrico da região quando comparado com estudos realizados no período de 1967 a 1993. Pode-se verificar uma leve redução do período excedente de chuva, que anteriormente estendia até o mês de março, e atualmente esse período fica restrito apenas até o mês fevereiro. Sendo assim, analisando o balanço hídrico mensal histórico para a região de Ilha Solteira, observa-se uma precipitação anual de 1230,0 mm, sendo a sua maior concentração nos meses de dezembro, janeiro, e fevereiro, apresentando um excedente hídrico somente durante os meses de janeiro e fevereiro, e o mês de dezembro representa o inicio da recuperação do armazenamento de água no solo. A Figura 5 ilustra o extrato do balanço hídrico mensal, demonstrando o excedente hídrico nos meses de janeiro e fevereiro, e os demais meses do ano deficiência hídrica.

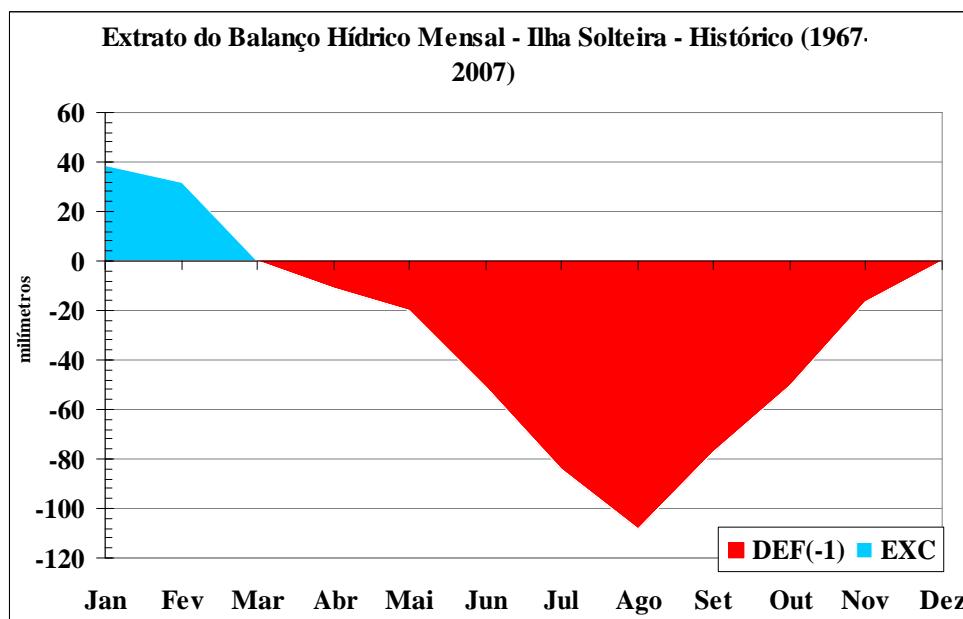


FIGURA 5: Extrato do balanço hídrico para Ilha Solteira de 1967 a 2007.

A Figura 6 ilustra os valores de precipitação, evapotranspiração potencial e a real, pode-se analisar os períodos críticos da região ao longo do ano, identificando os períodos de elevadas taxa de evapotranspiração de referência como sendo os meses de outubro, novembro e dezembro.

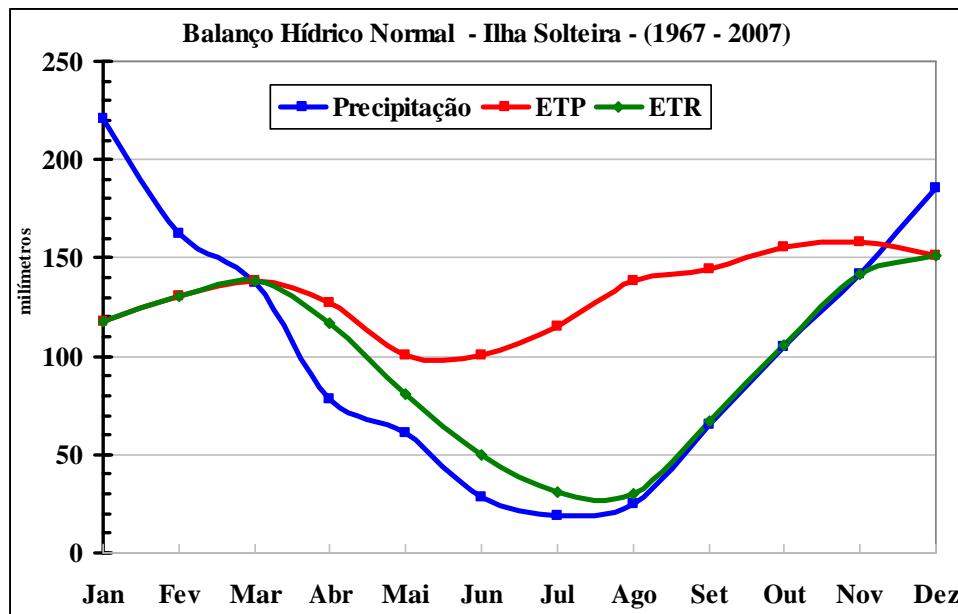


FIGURA 6: Os valores de precipitação, evapotranspiração potencial e a real

A Figura 7 ilustra o momento da retirada de água do solo, o período de déficit hídrico na região e o excedente hídrico, sendo os meses de julho e agosto os mais críticos apresentando um acentuado déficit hídrico. No mês de abril iniciou-se o déficit hídrico de 10,7 mm atingindo valores críticos de 108,2 mm no mês de agosto. Portanto, deve-se evitar durante esses meses a semeadura de cultivo de sequeiro, sendo este período apropriado para o planejamento e dimensionamento dos sistemas de irrigação sendo considerados os meses base para suprimir a deficiência da maioria das culturas.

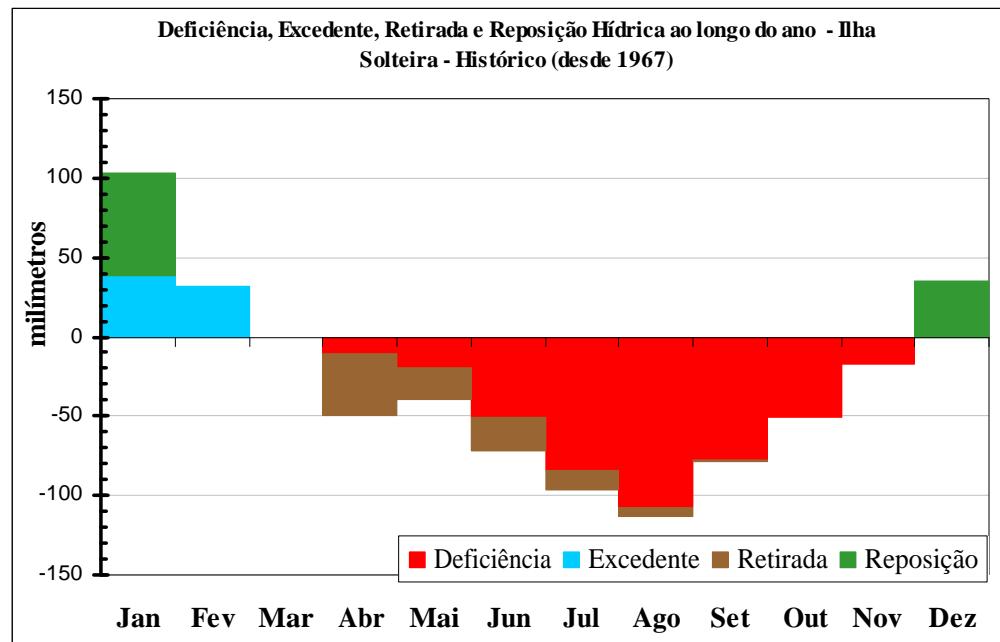


FIGURA 7: Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica.

O balanço hídrico da região de Ilha Solteira assume grande importância no planejamento agrícola, visando redução nos gastos do preparo do e manejo do solo, o melhor período para o desenvolvimento das culturas sem irrigação seria durante os meses de dezembro a fevereiro. Deve-se ressaltar que a distribuição de chuva na região não é uniforme, apresentando altas concentrações na estação de verão e longos períodos de estiagem durante a estação outono e inverno, podendo ocasionar frustrações quanto à produtividade esperada para o período devido às condições adversas encontradas durante o ciclo da cultura. O balanço hídrico neste trabalho contempla as médias mensais históricas para região torna-se um indicador climatológico da disponibilidade hídrica na região, sendo que para o planejamento agrícola se deve levar em consideração para o dimensionamento dos projetos de irrigação a um nível de probabilidade de 75 a 80% de ocorrência da precipitação. Visando minimizar os riscos de perdas na produtividade e qualidade do produto colhido.

4.2.2. Balanço hídrico mensal de 1994 a 2007 (Método do Penman-Monteith)

De acordo com a Tabela 10, determina-se o balanço hídrico utilizando para o cálculo da evapotranspiração o método do Penman-Monteith, considerado o método padrão da FAO (ALLEN et. al., 1994, 1998) para a região de Ilha Solteira.

TABELA 10: Balanço hídrico mensal para Ilha Solteira de 1994 a 2007 com a evapotranspiração calculada pelo método do Penman-Monteith.

| MESES | P mm | ETP mm | P-ETP mm | NEG-AC | ARM mm | ETR mm | DEF mm | EXC mm |
|---------------|---------------|---------------|---------------|----------|--------------|---------------|--------------|-------------|
| Jan | 263,2 | 152,6 | 110,7 | 0,0 | 100,0 | 152,6 | 0,0 | 44,7 |
| Fev | 153,0 | 144,3 | 8,7 | 0,0 | 100,0 | 144,3 | 0,0 | 8,7 |
| Mar | 152,4 | 152,9 | -0,6 | -0,6 | 99,4 | 152,9 | 0,0 | 0,0 |
| Abr | 56,0 | 139,7 | -83,6 | -84,2 | 43,1 | 112,4 | 27,3 | 0,0 |
| Mai | 65,5 | 112,4 | -46,8 | -131,0 | 27,0 | 81,6 | 30,7 | 0,0 |
| Jun | 30,3 | 99,1 | -68,8 | -199,8 | 13,6 | 43,7 | 55,4 | 0,0 |
| Jul | 13,9 | 113,1 | -99,2 | -299,0 | 5,0 | 22,4 | 90,7 | 0,0 |
| Ago | 23,9 | 140,7 | -116,8 | -415,8 | 1,6 | 27,3 | 113,3 | 0,0 |
| Set | 54,8 | 151,9 | -97,1 | -512,9 | 0,6 | 55,8 | 96,1 | 0,0 |
| Out | 102,7 | 166,6 | -63,9 | -576,8 | 0,3 | 103,0 | 63,6 | 0,0 |
| Nov | 154,2 | 166,6 | -12,4 | -589,2 | 0,3 | 154,2 | 12,4 | 0,0 |
| Dez | 204,4 | 170,6 | 33,8 | -107,8 | 34,0 | 170,6 | 0,0 | 0,0 |
| TOTAIS | 1274,4 | 1710,5 | -436,1 | - | 424,9 | 1221,0 | 489,5 | 53,4 |
| MÉDIAS | 106,2 | 142,5 | -36,3 | - | 35,4 | 101,7 | 40,8 | 4,4 |

P = precipitação; ETP = evapotranspiração potencial; ETR = evapotranspiração real; NEG-AC = negativo acumulado; ARM = armazenamento de água no solo; DEF = deficiência hídrica; EXC = excedente hídrico

Através do balanço hídrico mensal pode-se verificar que não houve alterações no balanço hídrico da região quando comparado com o balanço hídrico histórico calculado pelo método do Tanque Classe A. Verifica-se um leve aumento na precipitação durante os meses da estação chuvosa, além de valores de evapotranspiração do Penman-Monteith apresentarem valores superiores aos calculados pelo método do Tanque Classe A, isso se deve ao fato da complexidade dos cálculos para determinação da evapotranspiração, pois exige grande número de variáveis, simulando valores próximos das condições reais de perdas. Na Figura 8, se pode observar um excedente hídrico somente durante os meses de janeiro e fevereiro.

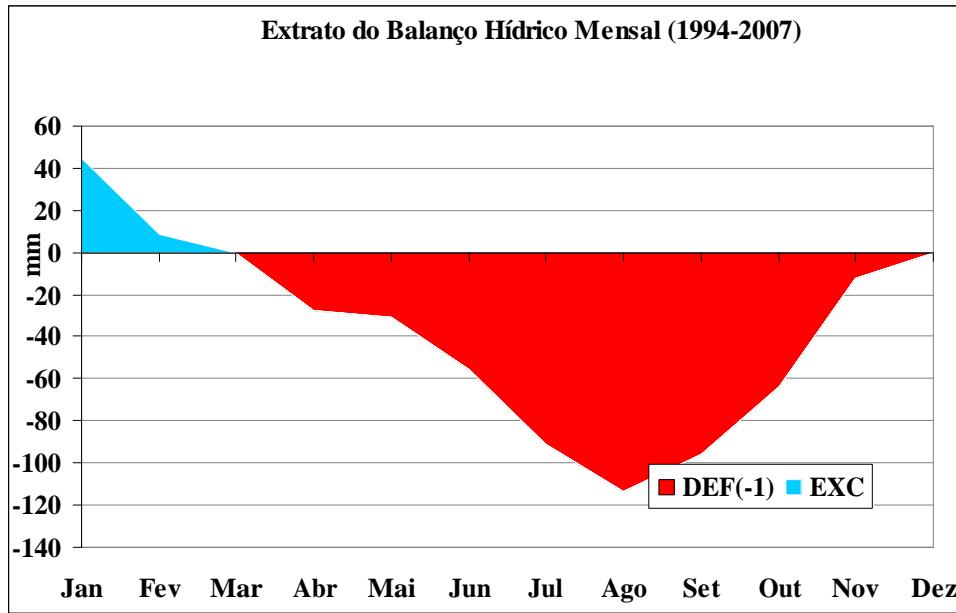


FIGURA 8: Gráfico do extrato do balanço hídrico para Ilha Solteira de 1994 a 2007.

A Figura 9 ilustra os valores de precipitação e evapotranspiração potencial e real, pode-se ressaltar que os maiores índices de evapotranspiração são registrados durante o segundo semestre, sendo o período mais crítico durante os meses outubro a dezembro, sendo o maior valor registrado durante o mês de dezembro, mas acaba sendo compensado pelo grande volume de chuva que ocorre na região durante essa época do ano.

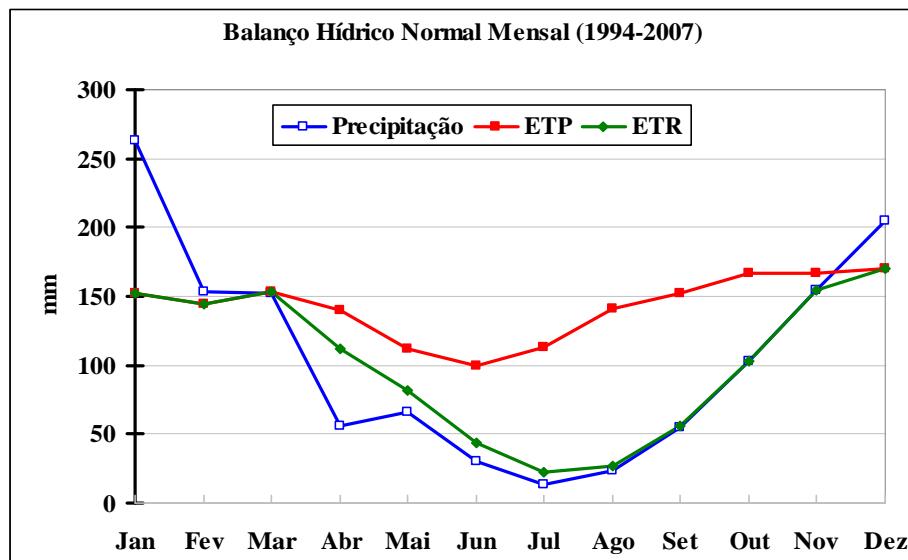


FIGURA 9: Valores de precipitação, evapotranspiração potencial e real

Na Figura 10, se pode observar que o período de abril a novembro ocorre à retirada de água no solo, proporcionando o déficit hídrico no solo, registrando o período mais crítico durante o mês de agosto quando atinge valores de 113,3 mm, sendo necessária a utilização de uma suplementação hídrica na região para o desenvolvimento das culturas em determinados período do ano, principalmente durante os meses de abril a outubro.

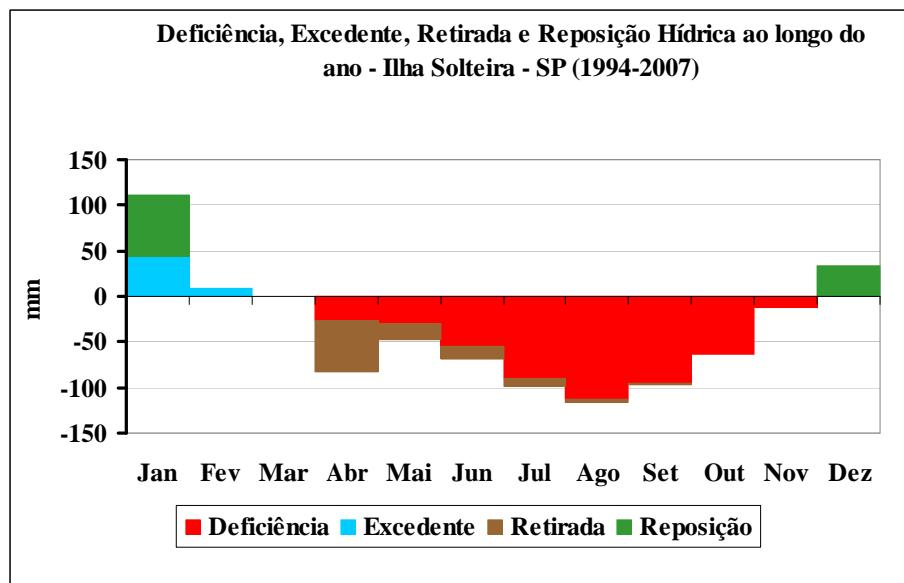


FIGURA 10: Gráfico representando a deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica

4.2.3. Balanço hídrico mensal de 2007 (Método de Penman-Monteith - FAO-1998)

Na Tabela 11, é apresentado o balanço hídrico para o ano de 2007, sendo utilizado para o cálculo de evapotranspiração o método de Penman-Monteith, considerado o método padrão da FAO (ALLEN et al, 1994, 1998), ilustrado nas Figuras de 11 a 13, através desse balanço hídrico, foi possível verificar um ano totalmente atípico do esperado segundo quando comparado com o balanço hídrico histórico para o município. Nota-se que houve um grande volume de chuva durante o mês de janeiro, proporcionando um excedente hídrico elevado para o período de 458,3 mm, mas em contra partida foi um ano com altos índices de deficiência hídrica, ocasionando um déficit final de 641,00 mm, devido longos períodos de estiagem registrados durante todo ano, principalmente durante os meses de junho e agosto, nos quais não registraram

nenhuma precipitação no período, normalmente ocorre um excedente hídrico durante os meses de janeiro, fevereiro e março, e os demais apresentava um déficit hídrico.

TABELA 11: Balanço hídrico mensal para Ilha Solteira para o ano de 2007 com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman-Monteith.

| MESES | P mm | ETP mm | P-ETP mm | NEG-AC | ARM mm | ETR mm | DEF mm | EXC mm |
|---------------|---------------|---------------|---------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Jan | 540,4 | 71,3 | 469,1 | 0,0 | 100,0 | 71,3 | 0,0 | 458,3 |
| Fev | 104,9 | 131,6 | -26,7 | -26,7 | 76,6 | 128,3 | 3,3 | 0,0 |
| Mar | 58,7 | 151,9 | -93,2 | -119,9 | 30,1 | 105,1 | 46,8 | 0,0 |
| Abr | 28,7 | 123,0 | -94,3 | -214,2 | 11,7 | 47,1 | 75,9 | 0,0 |
| Mai | 90,4 | 105,4 | -15,0 | -229,2 | 10,1 | 92,0 | 13,4 | 0,0 |
| Jun | 0,0 | 99,0 | -99,0 | -328,2 | 3,8 | 6,4 | 92,6 | 0,0 |
| Jul | 44,2 | 99,2 | -55,0 | -383,2 | 2,2 | 45,8 | 53,4 | 0,0 |
| Ago | 0,0 | 127,1 | -127,1 | -510,3 | 0,6 | 1,6 | 125,5 | 0,0 |
| Set | 7,6 | 153,0 | -145,4 | -655,7 | 0,1 | 8,1 | 144,9 | 0,0 |
| Out | 66,7 | 151,9 | -85,2 | -740,9 | 0,1 | 66,8 | 85,1 | 0,0 |
| Nov | 167,4 | 126,0 | 41,4 | -88,0 | 41,5 | 126,0 | 0,0 | 0,0 |
| Dez | 199,6 | 151,9 | 47,7 | -11,5 | 89,2 | 151,9 | 0,0 | 0,0 |
| TOTAIS | 1308,6 | 1491,3 | -182,7 | - | 365,9 | 850,3 | 641,0 | 458,3 |
| MÉDIAS | 109,1 | 124,3 | -15,2 | - | 30,5 | 70,9 | 53,4 | 38,2 |

P = precipitação; ETP = evapotranspiração potencial; ETR = evapotranspiração real; NEG-AC = negativo acumulado; ARM = armazenamento de água no solo; DEF = deficiência hídrica; EXC = excedente hídrico

O balanço de hídrico para o período de 2007 vem mostrando a tendência nos últimos anos de uma maior concentração de chuvas no período das águas e um longo período de estiagem na seca, proporcionando uma distribuição irregular de chuva na região, sendo necessário a utilização do sistema de irrigação praticamente durante o ano todo. O déficit hídrico iniciou-se no mês de fevereiro com 3,3 mm e estendeu-se até o mês de setembro quando atingiu o seu pico de 144,9 mm, e com início das chuvas em novembro foi possível promover o armazenamento adequado de água no solo.

A Figura 11 ilustra o extrato do balanço hídrico mensal para o período, registrando um excedente hídrico apenas no mês de janeiro, e aos demais meses um déficit hídrico.

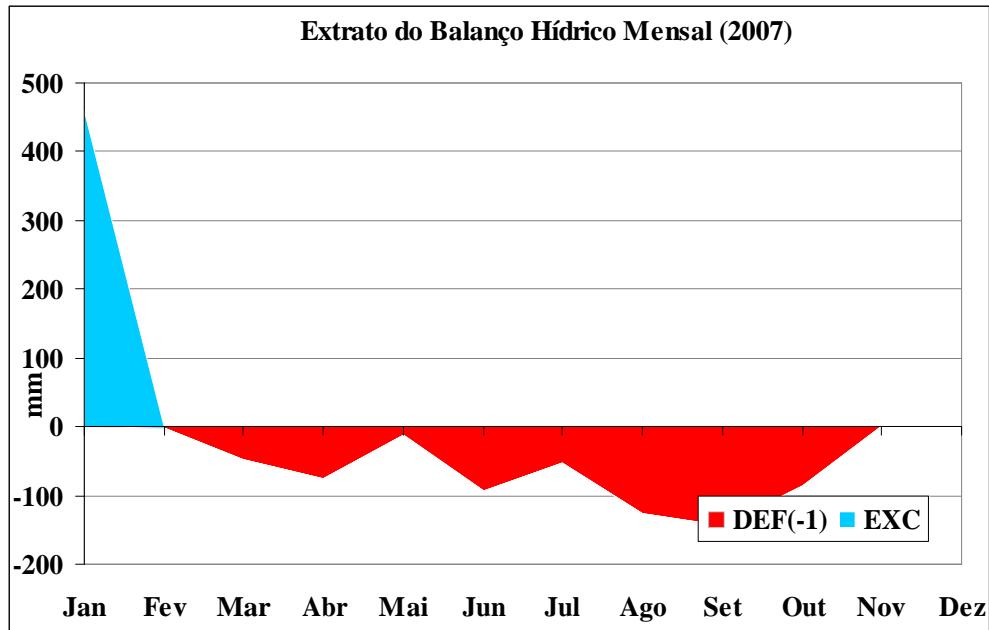


FIGURA 11: Gráfico do extrato do balanço hídrico para Ilha Solteira de 2007

A Figura 12 ilustra os valores de precipitação, evapotranspiração potencial e real, sendo assim pode-se identificar os períodos críticos durante o ano, onde a evapotranspiração potencial foi superior a precipitação, ocasionando um transtorno principalmente aos agricultores que não disponibilizavam de um sistema de irrigação para suprir suas deficiências hídricas durante o período. Desde o mês de fevereiro até outubro foi registrada uma evapotranspiração potencial superior aos índices de precipitação registrados para o mesmo período.

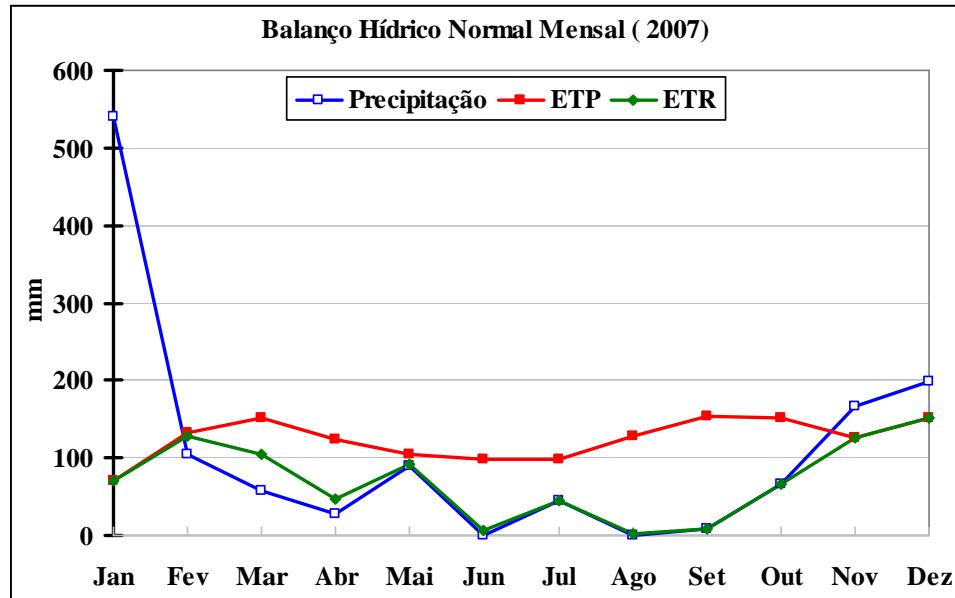


FIGURA 12: Valores de precipitação, evapotranspiração potencial e real para Ilha Solteira 2007

Na Figura 13, ilustra o momento de retirada de água no solo, período de déficit hídrico e excedente hídrico, proporcionando uma melhor visualização dos períodos críticos na região.

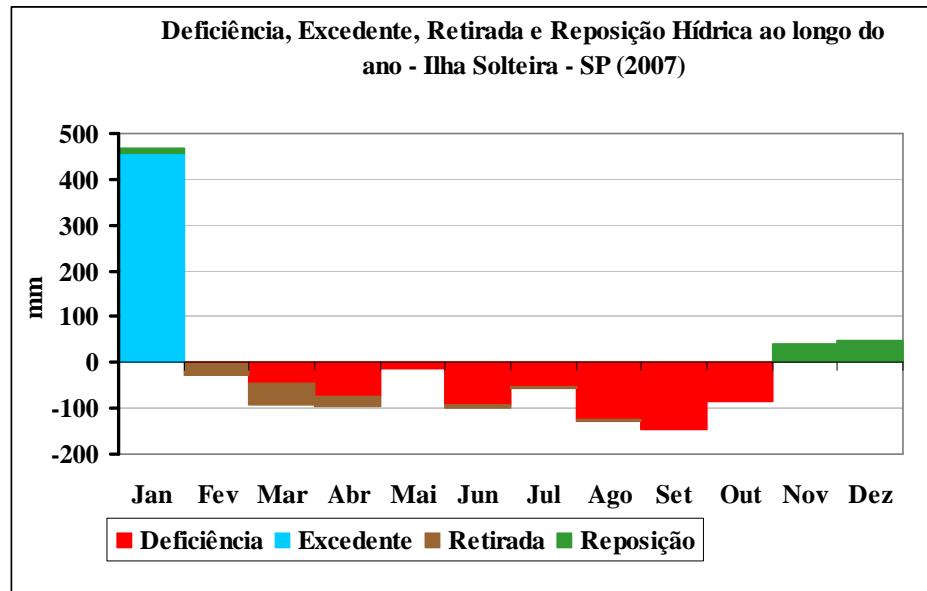


FIGURA 13: Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica para Ilha Solteira em 2007.

4.3. Caracterização agroclimática de Ilha Solteira-SP (1967-2007)

A caracterização agroclimatológica consiste no estudo de variáveis climáticas ao longo de uma série de dados, permitindo um monitoramento do clima da região. Sendo assim, vem ganhando cada vez mais importância nos últimos anos devido ao aquecimento global e os fenômenos naturais, ocasionando alterações na freqüência e distribuição de chuvas.

Na Tabela 12 estão apresentados os valores médios e absolutos para variáveis climáticas como: temperatura, umidade relativa do ar, e a velocidade do vento. A temperatura média para região é igual a 24,6°C, sendo este valor bem superior ao apresentado por Centurion (1982), que seria igual a 23,6°C, sendo o período de dados utilizados de 1971 a 1979. Hernandez et al (1995) analisando o período entre 1967 e 1993 registraram uma temperatura média de 24,5°C.

TABELA 12: Valores médios de temperatura, umidade relativa, e velocidade do vento na região de Ilha Solteira de 1967 a 2007.

| MÊS | TEMPERATURA (°C) | | | UMIDADE RELATIVA (%) | | | VEL. DO VENTO (m/s) | |
|--------|------------------|--------|--------|----------------------|--------|--------|------------------------|--------|
| | Média | Máxima | Mínima | Média | Máxima | Mínima | Média | Máximo |
| Jan | 26,4 | 29,9 | 24,0 | 73,2 | 88,1 | 51,5 | 1,24 | 4,23 |
| Fev | 26,7 | 30,3 | 24,1 | 73,0 | 87,6 | 52,0 | 1,30 | 3,85 |
| Mar | 26,6 | 30,2 | 24,0 | 72,2 | 88,6 | 51,7 | 1,13 | 5,09 |
| Abr | 25,1 | 28,9 | 22,2 | 68,2 | 88,2 | 47,8 | 1,25 | 3,98 |
| Mai | 22,4 | 26,4 | 19,3 | 67,0 | 87,8 | 46,7 | 1,24 | 4,09 |
| Jun | 21,5 | 25,8 | 18,0 | 65,7 | 86,3 | 43,1 | 1,33 | 4,35 |
| Jul | 21,4 | 26,1 | 17,3 | 60,8 | 84,7 | 38,5 | 1,48 | 4,73 |
| Ago | 23,2 | 28,0 | 18,7 | 56,6 | 83,2 | 33,3 | 1,62 | 4,95 |
| Set | 24,3 | 28,9 | 20,6 | 59,9 | 85,7 | 38,2 | 1,69 | 5,41 |
| Out | 26,0 | 30,5 | 22,5 | 64,1 | 87,7 | 40,2 | 1,44 | 5,07 |
| Nov | 25,6 | 29,5 | 21,9 | 65,7 | 87,5 | 44,7 | 1,47 | 4,82 |
| Dez | 25,7 | 29,3 | 22,3 | 71,2 | 89,3 | 49,9 | 1,31 | 4,54 |
| TOTAL | - | - | - | - | - | - | - | - |
| MÉDIA | 24,6 | 28,7 | 21,2 | 66,5 | 87,1 | 44,8 | 1,38 | 4,63 |
| MÁXIMO | 26,7 | 30,5 | 24,1 | 73,2 | 89,3 | 52,0 | 1,69 | 5,41 |
| MÍNIMA | 21,4 | 25,8 | 17,3 | 56,6 | 83,2 | 33,3 | 1,13 | 3,85 |

Portanto, verifica-se neste caso aumento de 1°C na temperatura média anual, quando comparado com os valores analisados há 26 anos, sendo registrado nos últimos 14 anos aumento de 0,1°C quando comparado com os valores de Hernandez et al, (1995). A temperatura máxima média do ano foi de 30,5°C, durante o mês de outubro, sendo este valor superior ao encontrado por Lemos Filho (1995), que seria igual a

29,2°C, caracterizando um aumento na temperatura máxima de 0,7°C. A temperatura mínima média do ano foi de 17,3°C, durante o mês de julho, sendo este valor inferior ao encontrado por Lemos Filho (1995), registrando 17,6°C. A umidade relativa média anual da região é 66,5%, sendo a umidade relativa do ar mais crítica ocorreu durante os meses do inverno onde a umidade relativa mínima média atinge picos de 33,3%, sendo assim o clima seco da região provoca baixos índices de umidade merecendo uma maior atenção por parte dos profissionais, pois são altas probabilidades de queimadas e da ocorrência de problemas respiratórios na população. A velocidade do vento médio de 1,38 m/s, sendo este valor considerado baixo dentro dos padrões meteorológicos, sendo o mês de setembro responsável pelos ventos máximos médios de 5,41 m/s. A direção do vento predominante na região é norte/nordeste, sem grande variação durante o ano, ocorrendo apenas em momentos de chuvas.

Na Tabela 13, são apresentados os valores compilados referente à radiação global, radiação líquida, radiação fotossinteticamente ativa (PAR), e a insolação (INS). A região de Ilha Solteira apresenta um forte calor durante quase todo ano, devido ao elevado numero de horas de insolação registrado na Região Noroeste Paulista. Sendo assim, apresenta uma insolação media anual de 7,3 horas/dia, e a insolação máxima média de 8,2 horas/dia durante o mês de julho, sendo durante a estação de inverno registrado o período de maior número de brilho solar durante o ano.

TABELA 13:Valores médios da Radiação global, líquida, Radiação fotossinteticamente ativa (PAR), e a Insolação (INS), para Ilha Solteira entre agosto de 1991 a 2007.

| MÊS | RADIAÇÃO GLOBAL (MJ/m ² .dia) | | | RADIAÇÃO LÍQUIDA (MJ/m ² .dia) | | | PAR mmoles.m ⁻² .dia | INS h/dia |
|--------|---|--------|--------|--|--------|--------|------------------------------------|--------------|
| | Média | Máxima | Mínima | Média | Máxima | Mínima | | |
| Jan | 19,7 | 29,9 | 5,8 | 13,0 | 20,2 | 3,3 | 316,8 | 6,4 |
| Fev | 21,6 | 29,5 | 10,8 | 14,5 | 19,9 | 6,4 | 333,6 | 6,9 |
| Mar | 20,7 | 27,0 | 7,9 | 13,4 | 17,5 | 4,5 | 327,1 | 7,2 |
| Abr | 18,6 | 23,0 | 8,5 | 12,0 | 15,2 | 5,1 | 280,5 | 7,9 |
| Mai | 15,4 | 20,0 | 3,5 | 9,4 | 12,6 | 1,7 | 226,0 | 7,6 |
| Jun | 13,9 | 16,8 | 6,3 | 8,5 | 10,4 | 3,5 | 211,8 | 7,7 |
| Jul | 15,2 | 19,1 | 6,9 | 9,0 | 12,2 | 3,4 | 217,4 | 8,2 |
| Ago | 18,3 | 22,2 | 8,7 | 9,2 | 12,4 | 3,6 | 262,6 | 8,0 |
| Set | 19,6 | 25,1 | 6,8 | 10,3 | 14,1 | 2,5 | 273,4 | 6,8 |
| Out | 20,7 | 28,5 | 5,0 | 12,3 | 18,1 | 1,3 | 301,3 | 7,3 |
| Nov | 21,7 | 30,8 | 6,2 | 13,8 | 18,3 | 2,9 | 311,5 | 7,2 |
| Dez | 22,3 | 30,9 | 7,3 | 14,6 | 19,3 | 3,7 | 318,7 | 6,1 |
| TOTAL | - | - | - | - | - | - | 3380,6 | 87,2 |
| MÉDIA | 19,0 | 25,2 | 7,0 | 11,7 | 15,8 | 3,5 | 281,7 | 7,3 |
| MÁXIMO | 22,3 | 30,9 | 10,8 | 14,6 | 20,2 | 6,4 | 333,6 | 8,2 |
| MÍNIMO | 13,9 | 16,8 | 3,5 | 8,5 | 10,4 | 1,3 | 211,8 | 6,1 |

A radiação global média anual é 19,0 MJ/m².dia⁻¹, sendo que atinge valores extremos durante a estação do verão, pois apresenta dias longos, ocorrendo uma maior incidência de luz sobre a terra, o mês de dezembro chega a registrar 30,9 MJ/m².dia⁻¹, e o mês de maio com registrou as menores médias de radiação global, sendo igual a 3,6 MJ/m².dia⁻¹. A radiação líquida média anual é 11,7 MJ/m².dia⁻¹ sendo esta considerada a radiação na superfície das culturas, sendo a radiação líquida máxima média de 20,2 MJ/m².dia⁻¹ durante o mês de janeiro, e na outra ponta com os menores registros de radiação líquida mínima media de 1,3 MJ/m².dia⁻¹, no mês de outubro. A determinação da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) é de fundamental importância na fotossíntese e outros processos da planta. São usadas para caracterizar o crescimento e a morfologia das plantas estimando a competição entre plantas, e também são úteis para cálculo da área foliar. A radiação fotossinteticamente ativa média anual de 281,7 mmoles.m⁻².dia⁻¹, máxima de 333,6 mmoles.m⁻².dia⁻¹ durante o mês de fevereiro e a mínima de 211,8 mmoles.m⁻².dia⁻¹.

Estas condições qualificam a região como uma das mais potenciais para o desenvolvimento de uma agricultura de alto nível apresentando grandes possibilidades de plantio, pois possui altas temperaturas e o inverno não é tão rigoroso, todavia deve ser alicerçada na irrigação, pois o déficit hídrico é intenso nos meses centrais do ano.

5. CONCLUSÕES

A distribuição gama apresentou melhores ajustes às séries históricas mensais de precipitação em relação ao método empírico de acordo com os testes de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de significância, nos diversos níveis de probabilidade de ocorrência de precipitação.

O balanço hídrico apresentou uma deficiência hídrica muito elevada para região de Ilha Solteira, concentrando-se no período de abril a outubro, ocorrendo um excedente hídrico nos meses de janeiro e fevereiro, apresentando uma desuniformidade na distribuição de chuvas, proporcionando uma maior concentração de chuva durante a estação de verão e período de estiagem prolongada durante a estação do inverno, sendo necessária a utilização de sistema de irrigação para suplementação hídrica das culturas em geral.

Na determinação do balanço hídrico para o ano de 2007 verificou-se excedente hídrico somente durante o mês de janeiro, sendo o déficit hídrico entre os meses de março a outubro, ocorrendo um excedente apenas no mês de janeiro.

A região de Ilha Solteira tem temperatura média anual de 24,6°C, com umidade relativa média de 66,5%, evapotranspiração média de 142,5 mm/mês, calculado pelo método padrão FAO (Penman Monteith), precipitação média anual de 1230,0 mm, insolação média anual de 7,3 horas dia, radiação global de média anual de 19,0 MJ/m² dia⁻¹, radiação líquida média anual 11,7 MJ/m² dia⁻¹, radiação fotossinteticamente ativa média anual de 281,7 mmoles.m⁻².dia⁻¹ e velocidade média do vento de 1,4 m/s.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, D. J.; KRUKER, R.J.M; CALHEIROS, R. de O., SILVA,C.A.S. Determinação da evapotranspiração potencial e balanço hídrico da região da grande Dourados. MS. EMBRAPA - UEPAE Dourados, 150 p., 1986.

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smuth, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**, Rome: FAO, 1998, 301p. Irrigation and Drainage Paper 56

ANDRADE, C. L. T.; COELHO, E. F.; COUTO, L.; SILVA, E. L. Parâmetros de solo-água para engenharia de irrigação e ambiental. In: FARIA, M. A.; SILVA, E. L.; VILELA, L. A. A.; SILVA, A. M. **Manejo de irrigação**. Lavras: UFLA/SBEA, 1998, p. 1-132.

BERLATO, M.A. As condições de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMASCHI, H. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. Universitária UFRGS, 1992. cap.1,p.11-24.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C.; BONO, L. Tendência temporal da precipitação pluvial anual no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria**, v.3 1995, p.111-113.

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

BISPO, E.M.; HERNANDEZ, F.B.T.; Costa, J.C.G. Caracterização agroclimatológica na região de Ilha Solteira, Estado de São Paulo. In: XIX Congresso de Iniciação Científica - UNESP, 2007, Ilha Solteira.

BRUCE, J. P. The atmosphere of the living planet earth. Geneve: **World Meteorological Organization**, 1990 42 p. (WMO), 735.

BRUHN, J.A.; FRY, W.E.; FICK,G.W. Simulation of daily weather data using theoretical probability distributions. **Journal of Applied Meteorology**, Lancaster, v. 19, n.9, 1980 p.1029-1036.

CAMARGO, A.P. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 1971. 28p. (**Boletim Técnico, 116**).

CASTRO, R. **Distribuição probabilística de precipitação na região de Botucatu-SP**. 1996 88f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.

CASTRO, L.H.R., MOREIRA, A.N.; ASSAD, E.D. Definição e regionalização dos padrões pluviométricos dos cerrados brasileiros. In: ASSAD, E.D. Chuvas no cerrados: análise e espacialização. Brasília: Embrapa, CPAC; Embrapa SPI, 1994. p.13-23.

CASTRO NETO, P.; SILVEIRA, J.V. Precipitação provável para Lavras-MG, Região Sul de Minas Gerais, baseada na função de distribuição de probabilidade gama. **Ciência e Pratica**, Lavras, v.5, n.2, 1981-b, p.144-151, jul./dez.

CENTURION, J.F. Balanço hídrico na Região de Ilha Solteira. **Cientifica**, v.10, n.1, 1982, p. 57-61.

COUTO, L.; COSTA, E.F.; VIANA, R.T. Efeito do veranico sobre a produção de cultivares de milho In: Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisas de Milho e Sorgo 1980-1984. Sete Lagoas, MG: EMBRAPA-CNPMS, 1986. p 77-78

CUNHA, A.R.; MARTINS, D.; PASSOS,J.R.S. O modelo gama de probabilidade aplicado ao estudo de distribuição da chuva mensal na região administrativa de Bauru-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1997, Campos do Jordão. **Anais** Campos do Jordão: SBA, 1997. p.107-110.

FIETZ, C.R.; URCHEI, M. A.; FRIZZONE, J.A.; FOLEGATTI, M.V. Probabilidade de ocorrência de períodos secos e chuvosos na região de Dourados, MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA 1997, Piracicaba. **Anais** Piracicaba: SBA, 1997. v.1, p. 101-103.

FRIEDMAN, D. G.; JANES, B. E. Estimation of rainfall probabilities. University of Connecticut Agricultural Experiment Station Bulletin, Connecticut, v.332, p 1-22 195.

FRIZZONE, J.A., **Análise de cinco modelos para calculo da distribuição de precipitação na região de Viçosa – MG**. 1979. p 1979 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1979

GALATE, R.S. **Estudo das precipitações pluviais no município de Belém - PA, através da distribuição gama**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1987. p.70 Tese mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica.

GOMIDE R.L.; Monitoramento para o manejo da irrigação: instrumentação automação e métodos. In: FARIA M.A.; SILVA, E.L.; VILELA, L.A.A.; SILVA, A.M.; **Manejo de irrigação**. Lavras: UFLA/SBEA,1998. p.133-238.

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

HERNANDEZ, F.B.T.; SOUZA, S.A. V de; ZOCOLER, J.A. Simulação e efeito de veranicos em culturas desenvolvidas na região de Palmeira d'oeste, estado de São Paulo. Jaboticabal, **Engenharia Agrícola**, v.23, n.1, 2003. p.21-30.

HORIKOSHI, A.S.; FISCH, G. Balanço hídrico atual e simulações para cenários climáticos futuros no Município de Taubaté, SP, Brasil **Revista Ambiente e Água** In: Journal of Applied Science : v.2, n. 2, 2007.

JENSEN, M.E. Design and operation of farm irrigation system. New York: ASAE. 1983. 829p.

KARL, T.R.; KNIGHT, R.W.; EASTERLING, D.R.; QUAYLE, R.G. Indices of climate change for the United States. American Meteorological Society Bulletin, Boston, v. 77, n. 2, 1996. p. 279-292, Feb.

LANNA, A. E. Elementos de estatística e probabilidades. In: TUCCI, C.E.M. (Org) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. Ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2001. p 79-176.

LEMOS FILHO M.A.F.; **Hidrisa: Software para elaboração de Balanços Hídricos – O Caso da Região de Ilha Solteira** 1995 p. 60 Trabalho de graduação Universidade Estadual Paulista Ilha Solteira, 1995

OLIVEIRA, S.L. Irrigação. In: Banana para exportação: aspectos técnicos da produção Brasília Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, 1995.106 p.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

RIGHETTO, A.M., **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998. 819

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, 1998. p.133-137.

SEDIYAMA, G.C.; CHANCELLOR, W.J.; BURKHARDT, T.H.; GOSS, J.R. Simulação de parâmetros climáticos para a época de crescimento das plantas. **Revista Ceres**, Viçosa, v.25, n.141, 1978. p.455-466.

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

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. New Jersey: Drexel Institute of Techonology, 1955. 104 p.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geogr. Rev**, v.38, 1948. p.55-94.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 250p.

VIVALDI, L.J. **Utilização da distribuição gama em dados pluviométricos**. Piracicaba: ESALQ/USP 1973. 77p. Tese de mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica

7ANEXOS

ANEXO 1: Probabilidade de ocorrência de precipitação através do Método de Distribuição Empírica.

| Ordem | P>Pm | P<Pm | T | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
|-------|------|------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 0,02 | 0,98 | 41,00 | 540,4 | 374,7 | 383,7 | 208,1 | 138,9 | 205,4 | 78,3 | 107,5 | 161 | 218,7 | 294,8 | 347,9 |
| 2 | 0,05 | 0,95 | 20,50 | 463 | 368,8 | 335,77 | 183,7 | 138,4 | 116,1 | 76,2 | 103,1 | 148,8 | 180,9 | 267,2 | 341,4 |
| 3 | 0,07 | 0,93 | 13,67 | 397,7 | 344,2 | 264,2 | 163,9 | 136,7 | 102,9 | 66,7 | 98,1 | 146 | 176,2 | 265,5 | 330 |
| 4 | 0,10 | 0,90 | 10,25 | 363,2 | 321,3 | 227,3 | 160,4 | 109,1 | 96,9 | 51,5 | 97,5 | 138,6 | 174,2 | 252 | 325,9 |
| 5 | 0,12 | 0,88 | 8,20 | 346,4 | 297,4 | 222,5 | 150,6 | 97,4 | 54,7 | 44,4 | 63,5 | 138,2 | 173 | 223 | 319,4 |
| 6 | 0,15 | 0,85 | 6,83 | 323,7 | 267,2 | 214 | 149,5 | 95,8 | 49,2 | 44,24 | 57,8 | 134,1 | 162,4 | 211,3 | 315,4 |
| 7 | 0,17 | 0,83 | 5,86 | 313 | 266,8 | 207,4 | 130,9 | 92,1 | 45 | 44,2 | 55,5 | 133,9 | 162 | 206,4 | 312,6 |
| 8 | 0,20 | 0,80 | 5,13 | 309,2 | 263,4 | 202,5 | 126,1 | 91,2 | 41,2 | 37,4 | 48,9 | 117,6 | 157,2 | 203 | 242,9 |
| 9 | 0,22 | 0,78 | 4,56 | 303 | 229,1 | 186,3 | 125,8 | 90,4 | 40,3 | 33 | 45 | 110,7 | 156,2 | 198,6 | 238 |
| 10 | 0,24 | 0,76 | 4,10 | 300,5 | 217,7 | 186,3 | 102,2 | 89,5 | 36,1 | 29,1 | 44 | 95,9 | 155,6 | 191,1 | 219,7 |
| 11 | 0,27 | 0,73 | 3,73 | 294,2 | 215,7 | 178,8 | 100,5 | 87,1 | 29,7 | 28,8 | 34,3 | 94,9 | 153,1 | 189,5 | 216,9 |
| 12 | 0,29 | 0,71 | 3,42 | 281,1 | 207,4 | 169,9 | 88,3 | 86,1 | 27,6 | 27,2 | 34,1 | 94,2 | 147,6 | 183,9 | 214,1 |
| 13 | 0,32 | 0,68 | 3,15 | 262,4 | 200,3 | 164,1 | 87,7 | 85 | 27,3 | 21,9 | 33,9 | 89,4 | 142,4 | 167,4 | 208,9 |
| 14 | 0,34 | 0,66 | 2,93 | 261,2 | 192,8 | 159,4 | 79,8 | 84,4 | 26,6 | 19,8 | 28 | 81,8 | 141,9 | 163,5 | 205 |
| 15 | 0,37 | 0,63 | 2,73 | 252,4 | 188 | 148,9 | 79,7 | 84 | 24,7 | 17,9 | 22,1 | 72,9 | 137,8 | 161,1 | 199,6 |
| 16 | 0,39 | 0,61 | 2,56 | 239,8 | 173,5 | 144,4 | 75,2 | 78 | 24,1 | 13,6 | 21,7 | 71,1 | 128,5 | 159,1 | 198,3 |
| 17 | 0,41 | 0,59 | 2,41 | 218,7 | 162,3 | 140,5 | 74,3 | 77,2 | 20,9 | 12,9 | 16,8 | 68 | 125 | 152,6 | 196,6 |
| 18 | 0,44 | 0,56 | 2,28 | 204,8 | 141,6 | 140,1 | 68,3 | 71,4 | 20,4 | 12 | 14,4 | 63,6 | 121 | 150 | 196,1 |
| 19 | 0,46 | 0,54 | 2,16 | 203,7 | 140,6 | 138,7 | 67,7 | 68,6 | 19,8 | 12 | 11,6 | 61,2 | 106 | 145,1 | 195,7 |
| 20 | 0,49 | 0,51 | 2,05 | 203,2 | 137 | 136,9 | 65,4 | 67,7 | 18,4 | 11,5 | 11,2 | 60,9 | 101,7 | 144,6 | 195,2 |

Continuação..

ANEXO 1: Probabilidade de ocorrência de precipitação através do Método de Distribuição Empírica

| Ordem | P>Pm | P<Pm | T | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
|--------------|----------------|----------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 21 | 0,51 | 0,49 | 1,95 | 198,9 | 136,8 | 134,4 | 63,3 | 54,8 | 15,4 | 10,2 | 10 | 60,4 | 89,1 | 142 | 176,5 |
| 22 | 0,54 | 0,46 | 1,86 | 196,8 | 135,3 | 117 | 59,9 | 52,6 | 15,2 | 9,1 | 9,6 | 54,4 | 87,5 | 137 | 170,7 |
| 23 | 0,56 | 0,44 | 1,78 | 195,1 | 130,7 | 113 | 59,4 | 50,9 | 14,7 | 8,6 | 7,7 | 53,3 | 80,8 | 129,4 | 167,4 |
| 24 | 0,59 | 0,41 | 1,71 | 190,1 | 129,9 | 107,7 | 58 | 49,2 | 13,7 | 7,3 | 6,3 | 50,6 | 74,1 | 122 | 165,3 |
| 25 | 0,61 | 0,39 | 1,64 | 181,5 | 128,3 | 107,2 | 58 | 48,1 | 13 | 6,4 | 4 | 46,7 | 72,6 | 119,4 | 151,7 |
| 26 | 0,63 | 0,37 | 1,58 | 181,1 | 124,7 | 103,6 | 57,5 | 47,8 | 12 | 6 | 3,8 | 38,4 | 70,5 | 116 | 147,3 |
| 27 | 0,66 | 0,34 | 1,52 | 172,2 | 117,8 | 96 | 51,8 | 44,2 | 7,3 | 4 | 0,8 | 36,2 | 69,2 | 114,4 | 147,3 |
| 28 | 0,68 | 0,32 | 1,46 | 158,2 | 105,5 | 95,8 | 49,8 | 41 | 7,1 | 3,7 | 0,5 | 30,3 | 69 | 111,8 | 144,7 |
| 29 | 0,71 | 0,29 | 1,41 | 139,3 | 105,3 | 95,6 | 47,5 | 30,7 | 4,6 | 3,5 | 0 | 26,2 | 67,4 | 104,7 | 143,3 |
| 30 | 0,73 | 0,27 | 1,37 | 130,2 | 104,9 | 90,4 | 44,6 | 29,7 | 3,3 | 3,3 | 0 | 25,9 | 66,7 | 92 | 136 |
| 31 | 0,76 | 0,24 | 1,32 | 129,4 | 101,5 | 86,4 | 41,3 | 25,4 | 3,2 | 2,2 | 0 | 21,8 | 63,5 | 88,5 | 122,6 |
| 32 | 0,78 | 0,22 | 1,28 | 129,2 | 95,8 | 67,7 | 40,6 | 23,7 | 1,9 | 1,9 | 0 | 21 | 61,5 | 82 | 114,8 |
| 33 | 0,80 | 0,20 | 1,24 | 128,3 | 93,2 | 58,7 | 40 | 20 | 0,9 | 1,6 | 0 | 18,3 | 56,3 | 80,5 | 94,3 |
| 34 | 0,83 | 0,17 | 1,21 | 123,9 | 82,9 | 58,6 | 30,5 | 18,8 | 0,8 | 1,3 | 0 | 13,9 | 52,7 | 69,1 | 90,8 |
| 35 | 0,85 | 0,15 | 1,17 | 119 | 80,7 | 54,3 | 28,7 | 18,1 | 0,3 | 0 | 0 | 10,4 | 48,8 | 63,6 | 90 |
| 36 | 0,88 | 0,12 | 1,14 | 114,4 | 77,9 | 50,6 | 28,2 | 9,4 | 0,2 | 0 | 0 | 10 | 46,8 | 38,3 | 86,3 |
| 37 | 0,90 | 0,10 | 1,11 | 99,5 | 37 | 38 | 27,1 | 5,7 | 0 | 0 | 0 | 8 | 32,5 | 34,1 | 83,8 |
| 38 | 0,93 | 0,07 | 1,08 | 87,2 | 2,5 | 35,1 | 25,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7,6 | 27,9 | 33,4 | 74,4 |
| 39 | 0,95 | 0,05 | 1,05 | 60,3 | 0 | 23,6 | 12,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,9 | 25,1 | 28,4 | 70,6 |
| 40 | 0,98 | 0,02 | 1,03 | 23,3 | 0 | 23,1 | 0,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,7 | 22,9 | 18,5 | 32,1 |

ANEXO 2: Teste de Kolgomorov-Smirnov**Teste de Kolmogorov smirnov****Dist.**

| Mês | Empirico | Gama |
|------------|-----------------|-------------|
| Janeiro | 0,134 | 0,152 |
| Fevereiro | 0,107 | 0,099 |
| Março | 0,394 | 0,102 |
| Abril | 0,125 | 0,107 |
| Maio | 0,147 | 0,097 |
| Junho | 0,200 | 0,121 |
| Julho | 0,171 | 0,113 |
| Agosto | 0,230 | 0,106 |
| Setembro | 0,106 | 0,113 |
| Outubro | 0,141 | 0,099 |
| Novembro | 0,069 | 0,100 |
| Dezembro | 0,119 | 0,093 |