

PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PROVÁVEIS NA REGIÃO DE PONTA GROSSA-PR

JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA¹; DANIELA JERSZURKI² E SIGUIFRID GOMES³

¹Departamento de Solos e Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Paraná – Rua dos Funcionários, 1540 – CEP 80035-050. Curitiba, PR. jmoretti@ufpr.br

²Departamento de Solos e Engenharia Agrícola – Universidade Federal do Paraná – Rua dos Funcionários, 1540 – CEP 80035-050. Curitiba, PR. djerszurki@ufpr.br

³New Holland Agriculture – Av. Juscelino Kubitschek Oliveira, 11825 – CEP 81020-490. Curitiba, PR. siguifrid@gmail.com

1 RESUMO

Estudos probabilísticos voltados às estimativas de valores prováveis de evapotranspiração de referência e precipitação têm grande utilidade no planejamento, projeto e manejo de inúmeras atividades agrícolas ligadas à engenharia de água e solo. Teve-se por objetivo no presente trabalho determinar os parâmetros estatísticos de cinco funções densidade de probabilidade ajustadas aos valores decendiais observados de precipitação e evapotranspiração de referência, bem como calcular os valores prováveis com a função densidade de melhor ajuste, determinando a magnitude de sua ocorrência para períodos de retorno iguais a 1,33, 4, 5, 10 e 15 anos, para o município de Ponta Grossa, Estado do Paraná. Foram consideradas as distribuições de probabilidade Normal, Triangular, Gama, Exponencial e Uniforme e, para a verificação do ajustamento das distribuições de probabilidade às séries de dados, foram aplicados testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade. As funções densidade de probabilidade Normal (70,3%) e Gama (29,7%) foram as que apresentaram melhor ajuste à série de evapotranspiração de referência e, para a precipitação, as funções Gama (59,5%) e Exponencial (29,7%) tiveram melhor ajuste à série de dados. A precipitação para um período de retorno de 1,33 anos (75% de probabilidade) correspondeu, em média, a 26,1% (32,4 mm decêndio⁻¹) da precipitação média decendial. Os valores prováveis de precipitação devem ser utilizados para as simulações de atividades visando o planejamento, projeto e manejo agrícola na região de Ponta Grossa-PR.

Palavras-chave: função densidade de probabilidade, ajustamento, componentes hídricas.

SOUZA, J. L. M.; JERSZURKI, D.; SIGUIFRID G.
PROBABLE PRECIPITATION AND REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN
PONTA GROSSA –PR

2 ABSTRACT

Probabilistic studies on estimates of probable values of evapotranspiration of reference and precipitation are of great value for planning, designing and managing several agricultural activities related to water and soil engineering. The objective of the study was to determine

the statistical parameters of five probability density functions adjusted to decennial values of precipitation and evapotranspiration of reference, as well as to calculate probable values using the density function of best adjustment, and to determine the magnitude of occurrence for payback periods of 1.33, 4, 5, 10 and 15 years in the city of Ponta Grossa, Paraná state. The Normal, Triangular, Gamma, Exponential and Uniform probability distributions were considered, and the Kolmogorov-Smirnov tests at 5% probability were used to test the adjustment of the probability distributions to the series of data. The Normal (70.3%) and Gamma (29.7%) probability density functions presented the best adjustment to the series of reference evapotranspiration, and the Gamma (59.5%) and Exponential (29.7%) probability density functions presented the best adjustment to the data series of precipitation. Precipitation for a payback period of 1.33 years (75% probability) corresponded to an average of 26.1% ($32,4 \text{ mm decennial}^{-1}$) of the mean decennial precipitation. The probable values of precipitation should be used for simulations of activities in agricultural planning, designing and managing in Ponta Grossa- PR region.

Keywords: Probability density function, adjustment, water components.

3 INTRODUÇÃO

O padrão pluviométrico e evapotranspirométrico de uma região pode ser descrito, com certo grau de precisão, a partir de séries históricas consistentes de dados (CASTRO, 2002). Nesse contexto, os estudos da evapotranspiração de referência (ET_o) e precipitação (P) prováveis realizados conforme Bragança (2007) e Ávila et al. (2009) evidenciam a utilidade, aplicação e abrangência que o ajustamento e obtenção de parâmetros estatísticos referente a essas variáveis têm para a atividade agrícola na área de engenharia de água e solo. Assim, a quantidade de precipitação esperada, com determinada probabilidade de ocorrência, é denominada precipitação provável e pode ser estimada quando uma função densidade de probabilidade (fdp) ajustar-se a uma série histórica de dados de precipitação (ASSIS et al., 1996; FRIZZONE et al., 2005). A evapotranspiração provável é a lâmina de evapotranspiração estimada a partir de uma fdp, que pode ser igualada ou superada a determinado nível de probabilidade (SOUZA, 2001).

Existem diversas fdp's, não havendo uma específica que justifique o seu uso generalizado no estudo de variáveis ambientais (ASSIS et al., 1996; BACK, 2001). Em virtude da complexidade dos processos envolvidos na variação temporal da precipitação pluviométrica, as fdp's são selecionadas de acordo com o critério de melhor ajuste com as séries históricas, facilidade de estimativa de seus parâmetros e flexibilidade computacional. Segundo Assis et al. (1996) e Lanna (2001) a distribuição Gama e Log-Normal são as mais utilizadas para a estimativa da precipitação. As distribuições Normal, Beta e Gumbel são as mais usadas para estimar a evapotranspiração (PRUITT et al., 1972). Quanto ao nível de probabilidade, para que haja minimização dos riscos, Saad & Scaloppi (1988) consideram que não se deve trabalhar com probabilidades de ocorrência de precipitação inferiores a 50%.

Nesse contexto, teve-se por objetivo determinar os parâmetros estatísticos de cinco funções densidade de probabilidade (fdp) ajustadas aos valores decenciais observados de precipitação (P) e evapotranspiração de referência (ET_o), bem como calcular os valores prováveis com a fdp de melhor ajuste, determinando a magnitude de sua ocorrência para períodos de retorno comumente utilizados na engenharia de água e solo (1,33, 4, 5, 10 e 15 anos), para o município de Ponta Grossa, Estado do Paraná.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas séries de 50 anos de dados diários de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação (mm dia^{-1}), fornecidos pelo Instituto Tecnológico SIMEPAR e provenientes da estação climatológica do município de Ponta Grossa – PR, Estado do Paraná, com classificação climática, segundo Koeppen, do tipo Cfa e Cfb, nas coordenadas $25,2164^{\circ}$ de latitude Sul, $50,0167^{\circ}$ de longitude Oeste e 880 m de altitude média.

A estimativa da ETo foi realizada conforme a metodologia de Thornthwaite (1948), descrita por Pereira et al. (1997).

Os procedimentos necessários para o cálculo da P e ETo decendial provável foram organizados e realizados com o auxílio de em uma planilha eletrônica, contendo rotinas desenvolvidas especialmente para essa finalidade, seguindo as recomendações propostas por Assis et al. (1996) e Frizzone et al. (2005). Os procedimentos foram: (a) tabulação dos dados diários de P e ETo, agrupamento dos dados em decêndios, contabilização e desconsideração dos decêndios contendo ausência de precipitação (P_o , precipitação decendial menor que 1 mm decêndio $^{-1}$); (b) estabelecimento das distribuições de frequência com os dados das séries decendiais de P e ETo; (c) cálculo dos parâmetros estatísticos das cinco fdp's testadas (Gama, Normal, Exponencial, Triangular e Uniforme); (d) realização dos testes de aderência seguindo a metodologia de Kolmogorov-Smirnov (ASSIS et al., 1996; SOUZA, 2001), a 5% de probabilidade; (e) escolha da fdp de melhor ajuste e estimativa da P e ETo prováveis (com a fdp de melhor ajuste), para os 37 decêndios dos anos analisados; (f) Após a escolha da fdp que melhor se ajustou aos valores decendiais de P e ETo, determinou-se a ocorrência de valores decendiais prováveis empregando períodos de retorno (T) iguais a 1,33 ($P_{T1,33 \text{ anos}} = 75\%$), 4 ($P_{T4 \text{ anos}} = 25\%$), 5 ($P_{T5 \text{ anos}} = 20\%$), 10 ($P_{T10 \text{ anos}} = 10\%$) e 15 ($P_{T15 \text{ anos}} = 7\%$) anos para a P e, 1,33 ($ETo_{T1,33 \text{ anos}} = 75\%$), 4 ($ETo_{T4 \text{ anos}} = 25\%$), 5 ($ETo_{T5 \text{ anos}} = 20\%$), 10 ($ETo_{T10 \text{ anos}} = 10\%$) e 15 ($ETo_{T15 \text{ anos}} = 7\%$) anos para a ETo; (g) Na estimativa dos valores prováveis, como algumas das fdp's analisadas não admitem valores nulos, adotou-se o conceito de distribuição mista.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Tabela 1 permitem verificar que as distribuições de probabilidade Normal e Gama foram as distribuições que melhor se ajustaram à ETo para Ponta Grossa. A distribuição Normal ajustou-se bem em 26 decêndios (70,3%) e a Gama a 11 decêndios (29,7%). As distribuições Uniforme, Exponencial e Triangular não apresentaram melhor ajuste em nenhum dos decêndios do ano. Castro (2002) comenta que variáveis sem limite inferior e superior são bem representadas pela distribuição de probabilidade Normal. A ETo possui limite inferior em zero, mas mesmo assim ajustou-se bem a 70,3% dos 37 períodos decendiais estudados. Pruitt et al. (1972) comenta que a ETo geralmente tende a ajustar-se à distribuição Normal. Contudo, os resultados obtidos (Tabela 1) indicam que é sempre prudente testar outras fdp's no ajuste, já que em 29,7% dos períodos decendiais a ETo ajustou-se à distribuição Gama.

A partir das análises que determinaram a fdp que melhor se ajustou aos dados de ETo foram calculados os valores prováveis para os períodos de retorno iguais a 1,33, 4, 5, 10 e 15 anos (Tabela 2). Os valores prováveis de ETo auxiliam no planejamento, projeto e manejo agrícola e auxiliam no dimensionamento de uma série de obras na área de engenharia rural.

A probabilidade de ocorrência da evapotranspiração média foi próxima a 50% (Figura 1). A pequena variação da ETo decendial média deveu-se ao melhor ajustamento da série à distribuição Normal.

Tabela 1. Parâmetros estatísticos de cinco fdp's (Normal, Triangular, Gama, Exponencial e Uniforme) para valores decendiais de ETo, para os 37 decêndios do ano, no período de 50 anos, no município de Ponta Grossa – PR.

| Série | a ⁽¹⁾ | b ⁽²⁾ | Mo ⁽³⁾ | μ ⁽⁴⁾ | σ ⁽⁵⁾ | α ⁽⁶⁾ | β ⁽⁷⁾ | fdp ⁽⁸⁾ | D _{max} ⁽⁹⁾ | D _{max} ⁽¹⁰⁾ | |
|--------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------|---------------------------------|----------------------------------|------|
| Decêndios | Anos | mm | decêndio | decêndio ⁻¹ | | Adimensional | | | Tabelado | Calculado | |
| 1 (01/01 a 10/01) | 50 | 26,8 | 43,5 | 36,2 | 34,1 | 3,8 | 84,62 | 0,40 | Normal | 0,19 | 0,04 |
| 2 (11/01 a 20/01) | 50 | 26,1 | 42,6 | 33,3 | 33,5 | 3,6 | 88,89 | 0,38 | Gama | 0,19 | 0,08 |
| 3 (21/01 a 30/01) | 50 | 27,6 | 40,8 | 31,7 | 34,0 | 3,1 | 122,81 | 0,28 | Normal | 0,19 | 0,04 |
| 4 (31/02 a 09/02) | 49 | 26,0 | 39,5 | 31,9 | 33,1 | 2,8 | 138,26 | 0,24 | Normal | 0,20 | 0,01 |
| 5 (10/02 a 19/02) | 49 | 24,7 | 39,7 | 33,2 | 32,7 | 3,2 | 106,16 | 0,31 | Normal | 0,20 | 0,03 |
| 6 (20/02 a 01/03) | 50 | 24,3 | 38,6 | 30,6 | 31,2 | 3,1 | 101,53 | 0,31 | Normal | 0,19 | 0,04 |
| 7 (02/03 a 11/03) | 51 | 22,9 | 34,9 | 29,6 | 29,6 | 2,9 | 103,26 | 0,29 | Normal | 0,19 | 0,04 |
| 8 (12/03 a 21/03) | 51 | 23,7 | 35,8 | 26,0 | 27,9 | 2,8 | 103,73 | 0,27 | Normal | 0,19 | 0,07 |
| 9 (22/03 a 31/03) | 51 | 19,4 | 32,9 | 25,3 | 26,5 | 3,0 | 78,79 | 0,34 | Gama | 0,19 | 0,06 |
| 10 (01/04 a 10/04) | 50 | 17,0 | 31,1 | 25,0 | 23,8 | 3,3 | 51,78 | 0,46 | Normal | 0,19 | 0,05 |
| 11 (11/04 a 20/04) | 50 | 14,9 | 30,2 | 21,6 | 21,8 | 3,5 | 41,02 | 0,53 | Normal | 0,19 | 0,03 |
| 12 (21/04 a 30/04) | 50 | 12,9 | 27,5 | 19,3 | 19,0 | 3,4 | 32,68 | 0,58 | Normal | 0,19 | 0,04 |
| 13 (01/05 a 10/05) | 49 | 9,8 | 23,1 | 17,3 | 16,6 | 3,4 | 23,58 | 0,70 | Normal | 0,20 | 0,05 |
| 14 (11/05 a 20/05) | 49 | 5,5 | 21,9 | 14,7 | 15,1 | 3,1 | 20,60 | 0,73 | Normal | 0,20 | 0,03 |
| 15 (21/05 a 30/05) | 49 | 6,4 | 20,5 | 12,6 | 13,0 | 3,1 | 17,08 | 0,76 | Normal | 0,20 | 0,04 |
| 16 (31/05 a 09/06) | 49 | 6,4 | 21,5 | 11,1 | 12,4 | 3,6 | 12,38 | 1,01 | Gama | 0,20 | 0,04 |
| 17 (10/06 a 19/06) | 49 | 4,9 | 18,8 | 14,4 | 12,5 | 3,0 | 16,53 | 0,76 | Normal | 0,20 | 0,02 |
| 18 (20/06 a 29/06) | 50 | 7,2 | 18,1 | 13,3 | 12,3 | 2,7 | 20,31 | 0,61 | Normal | 0,19 | 0,07 |
| 19 (30/06 a 09/07) | 50 | 7,7 | 18,3 | 12,4 | 12,7 | 2,7 | 21,63 | 0,59 | Normal | 0,19 | 0,04 |
| 20 (10/07 a 19/07) | 49 | 6,0 | 22,0 | 13,0 | 12,2 | 3,5 | 12,53 | 0,97 | Gama | 0,20 | 0,03 |
| 21 (20/07 a 29/07) | 50 | 5,1 | 19,6 | 13,2 | 12,8 | 3,7 | 10,89 | 1,18 | Normal | 0,19 | 0,05 |
| 22 (30/07 a 08/08) | 50 | 7,1 | 20,9 | 13,1 | 14,0 | 3,4 | 16,37 | 0,85 | Normal | 0,19 | 0,06 |
| 23 (09/08 a 18/08) | 50 | 7,9 | 22,9 | 14,4 | 14,8 | 3,3 | 20,56 | 0,72 | Gama | 0,19 | 0,03 |
| 24 (19/08 a 28/08) | 49 | 9,1 | 23,2 | 15,2 | 16,9 | 3,4 | 23,42 | 0,72 | Normal | 0,20 | 0,08 |
| 25 (29/08 a 07/09) | 50 | 8,1 | 29,8 | 14,9 | 17,5 | 4,5 | 15,62 | 1,12 | Gama | 0,19 | 0,08 |
| 26 (08/09 a 17/09) | 49 | 10,1 | 28,3 | 20,4 | 18,9 | 3,9 | 21,50 | 0,88 | Normal | 0,20 | 0,08 |
| 27 (18/09 a 27/09) | 50 | 10,5 | 29,2 | 18,6 | 19,9 | 3,9 | 25,31 | 0,78 | Gama | 0,19 | 0,03 |
| 28 (28/09 a 07/10) | 50 | 16,0 | 28,9 | 20,1 | 21,2 | 3,3 | 44,80 | 0,47 | Gama | 0,19 | 0,13 |
| 29 (08/10 a 17/10) | 50 | 14,7 | 36,8 | 24,4 | 23,4 | 4,6 | 26,88 | 0,87 | Normal | 0,19 | 0,03 |
| 30 (18/10 a 27/10) | 50 | 16,7 | 32,8 | 23,8 | 24,5 | 3,7 | 43,88 | 0,56 | Normal | 0,19 | 0,04 |
| 31 (28/10 a 06/11) | 49 | 20,9 | 36,6 | 23,1 | 26,3 | 3,6 | 55,16 | 0,48 | Normal | 0,20 | 0,06 |
| 32 (07/11 a 16/11) | 48 | 20,3 | 37,7 | 25,7 | 28,4 | 4,3 | 44,36 | 0,64 | Gama | 0,20 | 0,06 |
| 33 (17/11 a 26/11) | 49 | 21,9 | 37,7 | 26,8 | 29,5 | 3,7 | 65,12 | 0,45 | Gama | 0,20 | 0,07 |
| 34 (27/11 a 06/12) | 49 | 24,6 | 37,5 | 33,5 | 31,1 | 3,2 | 92,62 | 0,34 | Normal | 0,20 | 0,08 |
| 35 (07/12 a 16/12) | 50 | 26,7 | 43,3 | 31,9 | 32,8 | 3,6 | 88,52 | 0,37 | Gama | 0,19 | 0,03 |
| 36 (17/12 a 26/12) | 50 | 23,2 | 39,1 | 30,2 | 32,3 | 3,4 | 90,72 | 0,36 | Normal | 0,19 | 0,03 |
| 37 (27/12 a 31/12) | 50 | 9,8 | 22,9 | 17,1 | 17,1 | 2,3 | 51,93 | 0,33 | Normal | 0,19 | 0,04 |

⁽¹⁾ Menor valor; ⁽²⁾ Maior valor; ⁽³⁾ Moda; ⁽⁴⁾ Média; ⁽⁵⁾ Desvio padrão; ⁽⁶⁾ Parâmetro de forma da distribuição Gama; ⁽⁷⁾ Parâmetro de escala (taxa) da distribuição Gama; ⁽⁸⁾ Função densidade de probabilidade que melhor se ajustou aos dados decendiais de ETo da série; ⁽⁹⁾ Valor de D_{max} da estatística de Kolmogorov Smirnov (tabelado); ⁽¹⁰⁾ Valor de D_{max} calculado. Fonte dos dados climáticos utilizados: SIMEPAR.

Tabela 2. Valores prováveis decendiais de ETo para períodos de retorno (T) de ETo_{T1,33}, ETo_{T4}, ETo_{T5}, ETo_{T10} e ETo_{T15} anos, para os 37 decêndios do ano, no período de 50 anos, no município de Ponta Grossa – PR.

| ----- Série ----- | | fdp ⁽¹⁾ | ETo provável para determinado período de retorno (T _{anos}) | | | | |
|--------------------|------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------------------------|
| Decêndios | Anos | | ETo _{T1,33} | ETo _{T4} | ETo _{T5} | ETo _{T10} | ETo _{T15} |
| | | | | | | | ----- mm decêndio ⁻¹ ----- |
| 1 (01/01 a 10/01) | 50 | Normal | 31,6 | 36,7 | 37,3 | 38,9 | 39,7 |
| 2 (11/01 a 20/01) | 50 | Gama | 31,3 | 35,8 | 36,8 | 38,4 | 39,2 |
| 3 (21/01 a 30/01) | 50 | Normal | 31,9 | 36,1 | 36,6 | 38,0 | 38,6 |
| 4 (31/02 a 09/02) | 49 | Normal | 31,2 | 35,0 | 35,5 | 36,7 | 37,2 |
| 5 (10/02 a 19/02) | 49 | Normal | 30,5 | 34,8 | 35,4 | 36,8 | 37,4 |
| 6 (20/02 a 01/03) | 50 | Normal | 29,1 | 33,3 | 33,8 | 35,1 | 35,7 |
| 7 (02/03 a 11/03) | 51 | Normal | 27,7 | 31,6 | 32,1 | 33,3 | 33,9 |
| 8 (12/03 a 21/03) | 51 | Normal | 26,0 | 29,8 | 30,3 | 31,5 | 32,1 |
| 9 (22/03 a 31/03) | 51 | Gama | 24,7 | 28,4 | 29,3 | 30,7 | 31,4 |
| 10 (01/04 a 10/04) | 50 | Normal | 21,5 | 26,0 | 26,5 | 28,0 | 28,6 |
| 11 (11/04 a 20/04) | 50 | Normal | 19,5 | 24,2 | 24,7 | 26,3 | 26,9 |
| 12 (21/04 a 30/04) | 50 | Normal | 16,7 | 21,2 | 21,8 | 23,3 | 24,0 |
| 13 (01/05 a 10/05) | 49 | Normal | 14,3 | 18,8 | 19,4 | 20,9 | 21,5 |
| 14 (11/05 a 20/05) | 49 | Normal | 13,0 | 17,2 | 17,7 | 19,1 | 19,7 |
| 15 (21/05 a 30/05) | 49 | Normal | 11,0 | 15,1 | 15,6 | 16,9 | 17,5 |
| 16 (31/05 a 09/06) | 49 | Gama | 10,0 | 14,6 | 15,4 | 17,2 | 18,1 |
| 17 (10/06 a 19/06) | 49 | Normal | 10,5 | 14,5 | 15,0 | 16,3 | 16,9 |
| 18 (20/06 a 29/06) | 50 | Normal | 10,5 | 14,1 | 14,6 | 15,7 | 16,3 |
| 19 (30/06 a 09/07) | 50 | Normal | 10,9 | 14,6 | 15,0 | 16,2 | 16,7 |
| 20 (10/07 a 19/07) | 49 | Gama | 9,7 | 14,3 | 14,9 | 16,7 | 17,5 |
| 21 (20/07 a 29/07) | 50 | Normal | 10,3 | 15,3 | 15,9 | 17,5 | 18,3 |
| 22 (30/07 a 08/08) | 50 | Normal | 11,6 | 16,3 | 16,9 | 18,4 | 19,0 |
| 23 (09/08 a 18/08) | 50 | Gama | 12,5 | 16,9 | 17,5 | 19,1 | 19,9 |
| 24 (19/08 a 28/08) | 49 | Normal | 14,6 | 19,2 | 19,7 | 21,2 | 21,9 |
| 25 (29/08 a 07/09) | 50 | Gama | 14,3 | 20,2 | 21,1 | 23,4 | 24,4 |
| 26 (08/09 a 17/09) | 49 | Normal | 16,2 | 21,5 | 22,2 | 23,9 | 24,7 |
| 27 (18/09 a 27/09) | 50 | Gama | 17,0 | 22,3 | 22,9 | 24,9 | 25,8 |
| 28 (28/09 a 07/10) | 50 | Gama | 18,9 | 23,3 | 23,6 | 25,2 | 25,9 |
| 29 (08/10 a 17/10) | 50 | Normal | 20,3 | 26,5 | 27,3 | 29,3 | 30,2 |
| 30 (18/10 a 27/10) | 50 | Normal | 22,0 | 27,0 | 27,7 | 29,3 | 30,0 |
| 31 (28/10 a 06/11) | 49 | Normal | 23,8 | 28,7 | 29,3 | 30,9 | 31,6 |
| 32 (07/11 a 16/11) | 48 | Gama | 25,4 | 31,2 | 31,9 | 34,0 | 34,9 |
| 33 (17/11 a 26/11) | 49 | Gama | 26,8 | 31,8 | 32,3 | 34,0 | 34,8 |
| 34 (27/11 a 06/12) | 49 | Normal | 28,9 | 33,3 | 33,8 | 35,2 | 35,9 |
| 35 (07/12 a 16/12) | 50 | Gama | 30,3 | 35,1 | 35,6 | 37,3 | 38,0 |
| 36 (17/12 a 26/12) | 50 | Normal | 30,1 | 34,6 | 35,2 | 36,7 | 37,3 |
| 37 (27/12 a 31/12) | 50 | Normal | 15,5 | 18,6 | 19,0 | 20,0 | 20,5 |

⁽¹⁾ Função densidade de probabilidade que melhor se ajustou aos dados decendiais de ETo da série.

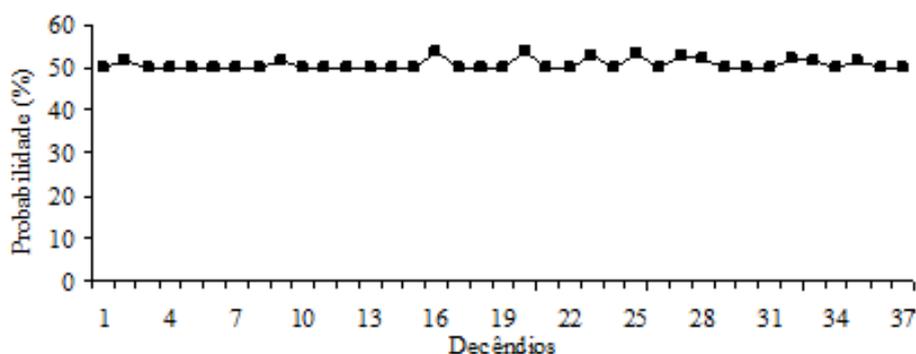


Figura 1. Probabilidade de ocorrer um valor maior ou igual à ETo média de Ponta Grossa-PR (1954–2004), considerando a distribuição de probabilidade de melhor ajuste.

Para a precipitação (P), as distribuições de probabilidade Gama e Exponencial tiveram melhor ajuste aos dados em 22 (59,5%) e 11 (29,7%) períodos decendiais, respectivamente (Tabela 3), concordando com os resultados obtidos por Araújo et al. (2001) e Soccol et al. (2010). A distribuição Normal ajustou-se a quatro períodos decendiais apenas, e as distribuições Uniforme e Triangular não apresentaram melhor ajuste a nenhum dos períodos decendiais do ano. A fdp Exponencial é um caso particular da distribuição Gama (ASSIS et al., 1996) e, por esse motivo, ajustou-se bem aos dados de P de inúmeros períodos decendiais em Ponta Grossa. Como a série de precipitação de Ponta Grossa tem aproximadamente 50 anos, a amplitude entre a média e moda evidencia que a P decencial não deve mesmo se ajustar a distribuição de probabilidade Normal. Observou-se também que o parâmetro de forma \square não excedeu a 100 em nenhum dos decêndios, o que de forma isolada, conforme Frizzone et al. (1985), indica bom ajustamento dos dados à distribuição Gama.

A partir das análises que determinaram a fdp que melhor se ajustou aos dados de P foram calculados os valores prováveis para os períodos de retorno iguais a 1,33, 4, 5, 10 e 15 anos (Tabela 4). Observou-se em todos os decêndios que os valores prováveis de P foram variáveis devido, provavelmente, à natureza aleatória da P, e predominantemente maiores que zero, caracterizando bem o subtipo climático (f) da classificação de Koeppen para Ponta Grossa (Cfa e Cfb), ou seja: clima úmido com ocorrência de precipitação em todos os meses do ano e inexistência de estação seca definida.

A precipitação provável para um período de retorno de 1,33 anos ($P_{T1,33 \text{ anos}}$) correspondeu, em média, a 26,1% da precipitação média decencial. A diferença média entre $P_{T1,33 \text{ anos}}$ (Tabela 4) e precipitação média (Tabela 3) foi de 32,4 mm decêndio⁻¹. Castro (2002) e Ribeiro & Lunardi (1997) comentam que a precipitação média é bastante empregada para a realização de projetos agrícolas no Brasil. Diante disso, utilizar a precipitação média em projetos de irrigação na região de Ponta Grossa pode levar ao subdimensionamento dos sistemas e os técnicos da área devem estar atentos a esse fato.

Verificou-se que a região apresenta dois períodos bem definidos, sendo um mais chuvoso, entre o 27° (18/09 a 27/09) e 8° (12/03 a 21/03) decêndio e, outro menos chuvoso, entre o 9° (22/03 a 31/03) e 26° (08/09 a 17/09) decêndio, aproximadamente. As maiores probabilidades de ausência de precipitação ($P = 0$) ocorreram entre os decêndios 11 e 27, o que corresponde ao período entre os meses de abril e setembro (Tabela 4 e Figura 2). Assim, a maior frequência de períodos com pequena precipitação ou estiagem concentrou-se nas estações de outono e inverno.

Tabela 3. Parâmetros estatísticos de cinco fdp's (Normal, Triangular, Gama, Exponencial e Uniforme) para valores decendiais de precipitação, para os 37 decêndios do ano, no período de 50 anos, no município de Ponta Grossa – PR.

| Série | Anos | a ⁽¹⁾ | b ⁽²⁾ | Mo ⁽³⁾ | μ ⁽⁴⁾ | σ ⁽⁵⁾ | α ⁽⁶⁾ | β ⁽⁷⁾ | fdp ⁽⁸⁾ | D _{max} ⁽⁹⁾ Tabelado | D _{max} ⁽¹⁰⁾ Calculado |
|--------------------|------|-----------------------------|------------------|-------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Decêndios | | (mm decêdio ⁻¹) | | | | Adimensional | | | | | |
| 1 (01/01 a 10/01) | 49 | 2,6 | 286,6 | 20,4 | 61,2 | 53,1 | 1,53 | 39,91 | Gama | 0,196 | 0,031 |
| 2 (11/01 a 20/01) | 49 | 1,7 | 235,5 | 16,3 | 60,0 | 57,4 | 1,06 | 56,70 | Exponencial | 0,196 | 0,021 |
| 3 (21/01 a 30/01) | 50 | 6,1 | 211,2 | 18,9 | 53,7 | 38,6 | 2,04 | 26,31 | Gama | 0,194 | 0,049 |
| 4 (31/02 a 09/02) | 48 | 5,5 | 148,9 | 68,2 | 54,3 | 32,5 | 2,30 | 23,65 | Normal | 0,200 | 0,050 |
| 5 (10/02 a 19/02) | 47 | 4,3 | 194,8 | 63,8 | 58,0 | 40,6 | 1,91 | 30,38 | Gama | 0,200 | 0,070 |
| 6 (20/02 a 01/03) | 49 | 5,5 | 155,5 | 14,9 | 50,9 | 36,6 | 1,69 | 30,20 | Gama | 0,200 | 0,050 |
| 7 (02/03 a 11/03) | 49 | 2,0 | 149,1 | 29,6 | 50,9 | 34,2 | 1,68 | 30,33 | Gama | 0,200 | 0,047 |
| 8 (12/03 a 21/03) | 50 | 1,4 | 102,9 | 33,1 | 44,9 | 29,3 | 1,82 | 24,65 | Gama | 0,190 | 0,079 |
| 9 (22/03 a 31/03) | 47 | 1,0 | 180,8 | 12,2 | 41,5 | 41,0 | 0,92 | 45,22 | Exponencial | 0,200 | 0,060 |
| 10 (01/04 a 10/04) | 46 | 1,2 | 146,7 | 10,3 | 34,5 | 34,0 | 1,01 | 34,20 | Exponencial | 0,200 | 0,057 |
| 11 (11/04 a 20/04) | 43 | 3,0 | 126,1 | 10,7 | 37,3 | 27,8 | 1,84 | 20,25 | Gama | 0,210 | 0,075 |
| 12 (21/04 a 30/04) | 42 | 1,0 | 182,2 | 12,3 | 39,2 | 38,3 | 0,99 | 39,44 | Exponencial | 0,210 | 0,030 |
| 13 (01/05 a 10/05) | 38 | 3,2 | 132,0 | 12,4 | 39,3 | 36,9 | 1,13 | 34,78 | Exponencial | 0,220 | 0,037 |
| 14 (11/05 a 20/05) | 40 | 1,5 | 231,1 | 15,8 | 56,2 | 55,3 | 0,90 | 62,73 | Exponencial | 0,220 | 0,068 |
| 15 (21/05 a 30/05) | 39 | 2,0 | 228,5 | 18,2 | 42,3 | 47,8 | 1,03 | 40,88 | Gama | 0,220 | 0,063 |
| 16 (31/05 a 09/06) | 42 | 1,1 | 143,5 | 10,0 | 35,6 | 34,9 | 1,09 | 32,56 | Gama | 0,210 | 0,029 |
| 17 (10/06 a 19/06) | 44 | 1,4 | 227,9 | 15,6 | 46,8 | 42,4 | 1,22 | 38,29 | Gama | 0,210 | 0,029 |
| 18 (20/06 a 29/06) | 43 | 1,2 | 179,4 | 12,3 | 45,8 | 42,2 | 1,04 | 44,14 | Exponencial | 0,210 | 0,039 |
| 19 (30/06 a 09/07) | 40 | 2,5 | 177,5 | 13,4 | 45,7 | 41,7 | 1,28 | 35,81 | Exponencial | 0,220 | 0,022 |
| 20 (10/07 a 19/07) | 40 | 1,0 | 118,4 | 8,3 | 34,8 | 35,2 | 0,92 | 38,02 | Gama | 0,220 | 0,145 |
| 21 (20/07 a 29/07) | 41 | 1,1 | 184,3 | 12,6 | 31,8 | 37,6 | 0,85 | 37,45 | Gama | 0,210 | 0,026 |
| 22 (30/07 a 08/08) | 40 | 1,0 | 187,3 | 12,6 | 34,4 | 37,0 | 0,89 | 38,62 | Gama | 0,220 | 0,033 |
| 23 (09/08 a 18/08) | 36 | 1,5 | 95,40 | 8,2 | 28,4 | 25,0 | 1,16 | 24,51 | Gama | 0,230 | 0,031 |
| 24 (19/08 a 28/08) | 38 | 1,6 | 128,6 | 10,7 | 36,9 | 31,8 | 1,15 | 31,96 | Exponencial | 0,220 | 0,075 |
| 25 (29/08 a 07/09) | 42 | 1,8 | 126,2 | 9,6 | 33,3 | 27,1 | 1,49 | 22,38 | Gama | 0,210 | 0,031 |
| 26 (08/09 a 17/09) | 43 | 1,5 | 172,0 | 12,2 | 52,0 | 46,2 | 1,02 | 51,15 | Exponencial | 0,210 | 0,078 |
| 27 (18/09 a 27/09) | 42 | 2,1 | 159,0 | 51,1 | 56,7 | 40,3 | 1,88 | 30,07 | Gama | 0,210 | 0,048 |
| 28 (28/09 a 07/10) | 46 | 2,4 | 189,2 | 14,1 | 55,5 | 48,3 | 1,37 | 40,44 | Gama | 0,200 | 0,032 |
| 29 (08/10 a 17/10) | 48 | 3,0 | 134,2 | 27,6 | 42,9 | 27,1 | 2,20 | 19,53 | Gama | 0,200 | 0,033 |
| 30 (18/10 a 27/10) | 50 | 1,0 | 121,8 | 53,8 | 52,9 | 29,8 | 2,31 | 22,92 | Normal | 0,190 | 0,057 |
| 31 (28/10 a 06/11) | 49 | 2,0 | 156,0 | 11,6 | 47,1 | 32,2 | 1,78 | 26,50 | Normal | 0,200 | 0,063 |
| 32 (07/11 a 16/11) | 46 | 2,4 | 146,6 | 11,4 | 42,7 | 33,8 | 1,48 | 28,88 | Gama | 0,200 | 0,039 |
| 33 (17/11 a 26/11) | 46 | 2,0 | 164,2 | 32,4 | 39,2 | 34,8 | 1,25 | 31,27 | Gama | 0,200 | 0,068 |
| 34 (27/11 a 06/12) | 48 | 5,8 | 134,6 | 13,8 | 47,6 | 34,1 | 1,89 | 25,18 | Gama | 0,200 | 0,060 |
| 35 (07/12 a 16/12) | 46 | 4,8 | 152,8 | 14,1 | 47,3 | 38,7 | 1,52 | 31,18 | Exponencial | 0,200 | 0,058 |
| 36 (17/12 a 26/12) | 50 | 3,7 | 166,5 | 13,9 | 50,9 | 40,8 | 1,51 | 33,82 | Gama | 0,190 | 0,049 |
| 37 (27/12 a 31/12) | 41 | 2,3 | 102,0 | 8,5 | 32,5 | 25,2 | 1,55 | 20,97 | Normal | 0,210 | 0,066 |

⁽¹⁾ Menor valor; ⁽²⁾ Maior valor; ⁽³⁾ Moda; ⁽⁴⁾ Média; ⁽⁵⁾ Desvio padrão; ⁽⁶⁾ Parâmetro de forma da distribuição Gama; ⁽⁷⁾ Parâmetro de escala (taxa) da distribuição Gama; ⁽⁸⁾ Função densidade de probabilidade que melhor se ajustou aos dados decendiais de P da série; ⁽⁹⁾ Valor de D_{max} da estatística de Kolmogorov Smirnov (tabelado); ⁽¹⁰⁾ Valor de D_{max} calculado. Fonte dos dados de precipitação: SIMEPAR.

Tabela 4. Valores prováveis decendiais para ausência de precipitação e precipitação para períodos de retorno (T) de 1,33 ($P_{T1,33}$), 4 (P_{T4}), 5 (P_{T5}), 10 (P_{T10}) e 15 (P_{T15}) anos, para os 37 decêndios do ano, período de 50 anos, no município de Ponta Grossa – PR.

| ----- Série ----- | | fdp ⁽¹⁾ | P(P=0) ⁽²⁾ (%) | P provável para determinado período de retorno (T _{anos}) | | | | |
|--------------------|------|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| Decêndios | Anos | | | P _{T1,33} | P _{T4} | P _{T5} | P _{T10} | P _{T15} |
| | | ----- mm decêndio ⁻¹ ----- | | | | | | |
| 1 (01/01 a 10/01) | 50 | Gama | 2,0 | 23,9 | 83,5 | 94,3 | 126,6 | 142,9 |
| 2 (11/01 a 20/01) | 50 | Exponencial | 2,0 | 16,1 | 83,2 | 96,6 | 138,1 | 159,5 |
| 3 (21/01 a 30/01) | 50 | Gama | 0,0 | 26,1 | 72,2 | 80,2 | 103,9 | 115,6 |
| 4 (31/02 a 09/02) | 49 | Normal | 2,0 | 30,8 | 76,3 | 81,7 | 96,0 | 102,3 |
| 5 (10/02 a 19/02) | 49 | Gama | 4,0 | 24,7 | 78,4 | 87,3 | 114,1 | 127,4 |
| 6 (20/02 a 01/03) | 50 | Gama | 2,0 | 21,1 | 69,4 | 77,9 | 103,3 | 116,0 |
| 7 (02/03 a 11/03) | 51 | Gama | 3,8 | 20,1 | 69,4 | 77,8 | 103,3 | 116,0 |
| 8 (12/03 a 21/03) | 51 | Gama | 1,9 | 19,6 | 60,8 | 67,9 | 89,2 | 99,8 |
| 9 (22/03 a 31/03) | 51 | Exponencial | 5,9 | 9,5 | 57,6 | 66,8 | 95,6 | 110,4 |
| 10 (01/04 a 10/04) | 50 | Exponencial | 7,8 | 7,1 | 47,8 | 55,5 | 79,3 | 91,6 |
| 11 (11/04 a 20/04) | 50 | Gama | 13,7 | 10,9 | 56,1 | 60,7 | 72,9 | 78,3 |
| 12 (21/04 a 30/04) | 50 | Exponencial | 15,7 | 4,6 | 54,4 | 63,1 | 90,3 | 104,3 |
| 13 (01/05 a 10/05) | 49 | Exponencial | 22,0 | 1,6 | 54,5 | 63,3 | 90,5 | 104,5 |
| 14 (11/05 a 20/05) | 49 | Exponencial | 18,0 | 5,0 | 77,9 | 90,4 | 129,4 | 149,4 |
| 15 (21/05 a 30/05) | 49 | Gama | 20,0 | 3,0 | 58,4 | 67,6 | 96,2 | 111,0 |
| 16 (31/05 a 09/06) | 49 | Gama | 14,0 | 5,6 | 49,2 | 56,7 | 80,0 | 91,9 |
| 17 (10/06 a 19/06) | 49 | Gama | 10,0 | 11,0 | 64,5 | 73,8 | 102,4 | 116,9 |
| 18 (20/06 a 29/06) | 50 | Exponencial | 13,7 | 6,4 | 63,5 | 73,7 | 105,5 | 121,8 |
| 19 (30/06 a 09/07) | 50 | Exponencial | 19,6 | 3,2 | 63,4 | 73,6 | 105,2 | 121,6 |
| 20 (10/07 a 19/07) | 49 | Gama | 19,6 | 2,0 | 48,5 | 56,7 | 82,2 | 95,4 |
| 21 (20/07 a 29/07) | 50 | Gama | 17,6 | 2,1 | 44,1 | 51,8 | 76,3 | 89,0 |
| 22 (30/07 a 08/08) | 50 | Gama | 19,6 | 1,8 | 47,6 | 55,8 | 81,4 | 94,7 |
| 23 (09/08 a 18/08) | 50 | Gama | 27,5 | 0,0 | 39,3 | 45,2 | 63,1 | 72,3 |
| 24 (19/08 a 28/08) | 49 | Exponencial | 22,0 | 1,5 | 51,2 | 59,4 | 85,0 | 98,2 |
| 25 (29/08 a 07/09) | 50 | Gama | 15,7 | 7,0 | 45,7 | 51,6 | 69,6 | 78,6 |
| 26 (08/09 a 17/09) | 49 | Exponencial | 12,0 | 8,3 | 72,1 | 83,7 | 119,7 | 138,2 |
| 27 (18/09 a 27/09) | 50 | Gama | 15,7 | 15,1 | 76,4 | 85,3 | 111,6 | 124,6 |
| 28 (28/09 a 07/10) | 50 | Gama | 7,8 | 16,2 | 76,2 | 86,6 | 118,0 | 133,9 |
| 29 (08/10 a 17/10) | 50 | Gama | 3,9 | 19,9 | 57,5 | 63,6 | 81,7 | 90,7 |
| 30 (18/10 a 27/10) | 50 | Normal | 0,0 | 32,8 | 73,0 | 78,0 | 91,1 | 96,8 |
| 31 (28/10 a 06/11) | 49 | Normal | 0,0 | 25,4 | 68,8 | 74,2 | 88,4 | 94,6 |
| 32 (07/11 a 16/11) | 48 | Gama | 4,1 | 15,2 | 58,6 | 66,2 | 89,4 | 101,0 |
| 33 (17/11 a 26/11) | 49 | Gama | 6,0 | 11,3 | 53,9 | 61,6 | 85,2 | 97,1 |
| 34 (27/11 a 06/12) | 49 | Gama | 2,0 | 21,2 | 64,3 | 71,7 | 93,8 | 104,8 |
| 35 (07/12 a 16/12) | 50 | Exponencial | 7,8 | 9,8 | 65,5 | 76,1 | 108,9 | 125,7 |
| 36 (17/12 a 26/12) | 50 | Gama | 0,0 | 20,6 | 69,9 | 79,0 | 106,2 | 120,0 |
| 37 (27/12 a 31/12) | 50 | Normal | 17,6 | 6,1 | 18,6 | 19,0 | 20,0 | 35,0 |

⁽¹⁾ Função densidade de probabilidade que melhor se ajustou aos dados decendiais de P da série; ⁽²⁾ Probabilidade de ausência de precipitação.

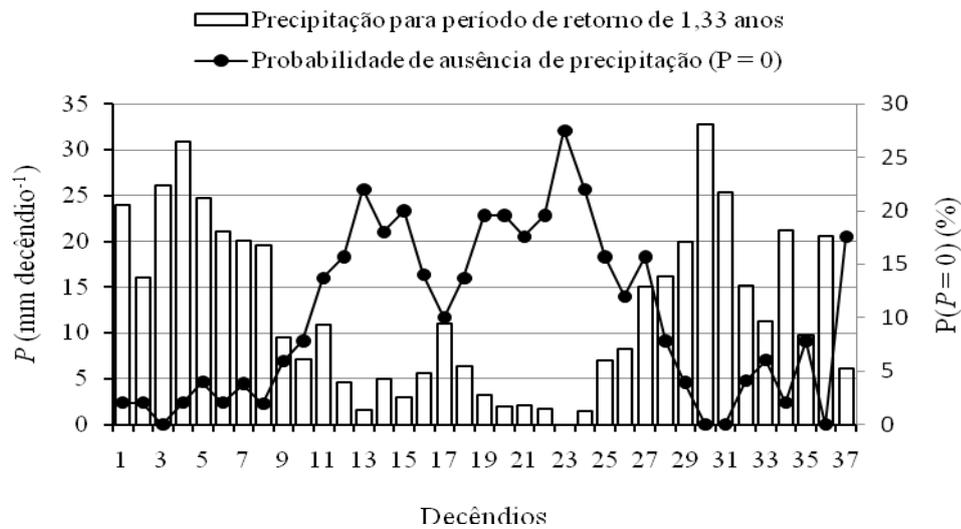


Figura 2. Precipitação provável para um período de retorno de 1,33 anos ($P_{T1,33 \text{ anos}} = 75\%$) e probabilidade de ausência de precipitação ($P = 0$), para os 37 decêndios do ano, considerando uma série climática de 50 anos, em Ponta Grossa-PR.

Apenas os três decêndios com melhor ajuste à distribuição Normal apresentaram probabilidade de ocorrência próxima a 50% (Figura 3). Para o período mais chuvoso a probabilidade de ocorrência da precipitação média variou entre 30% e 40%. No período menos chuvoso, nove decêndios apresentaram probabilidade menor que 30% de receber chuva igual ou superior à média. Para outras localidades, Ribeiro & Lunardi (1997) e Frizzone et al. (1985) também apresentam resultados que justificam os obtidos para o município de Ponta Grossa.

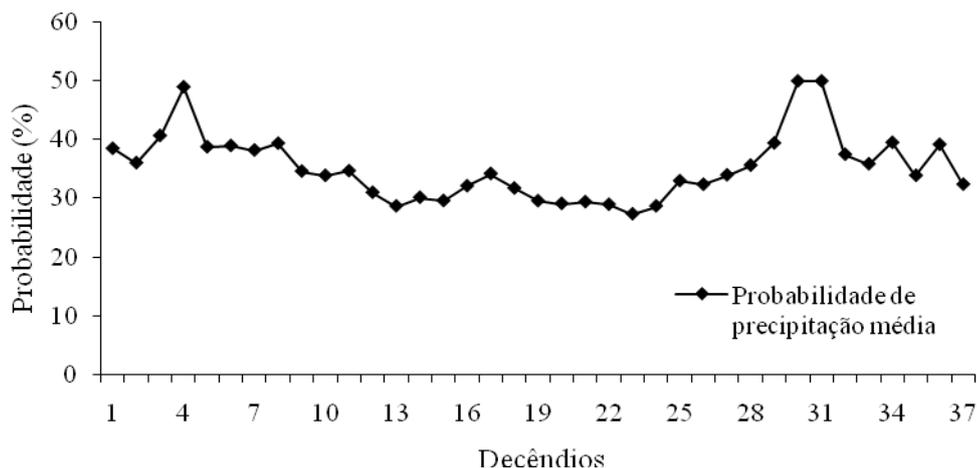


Figura 3. Probabilidade de ocorrência da precipitação média para o município de Ponta Grossa, para os 37 decêndios do ano, considerando uma série climática de 50 anos e a distribuição de probabilidade de melhor ajuste pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade.

Os valores decendiais médios de P e ETo para a região de Ponta Grossa indicaram, em todos os decêndios, que a P foi maior que a ETo ao longo do ano (Figura 4). Desconsiderando a possibilidade de ocorrência de veranicos e adotando apenas os dados médios de ETo e P, observou-se que não há necessidade da instalação de sistemas de irrigação suplementar, pois em todos os decêndios a ETo média foi menor que a P média, o que tende a favorecer o armazenamento de água no solo e reduzir a possibilidade de deficiência.

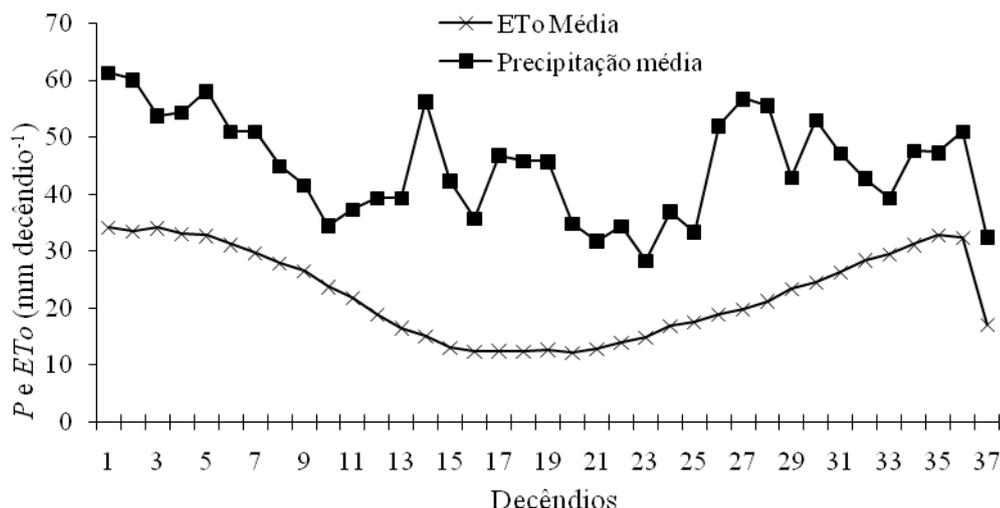


Figura 4. Valores médios decendiais de P e ETo, nos 37 decêndios do ano, considerando um período de 50 anos, no município de Ponta Grossa – PR.

Considerando a relação entre a $P_{T1,33 \text{ anos}}$ e $ETo_{T4 \text{ anos}}$ (Figura 5), observou-se que a região de Ponta Grossa apresentou deficiência de água para todos os decêndios do ano, exceto no período entre 18 e 27 de outubro (decêndio 30). A $P_{T1,33 \text{ anos}}$ para o decêndio 30 excedeu em 5,8 mm a $ETo_{T4 \text{ anos}}$ para o mesmo período. A diferença média entre $P_{T1,33 \text{ anos}}$ e $ETo_{T4 \text{ anos}}$ foi de $12,7 \text{ mm decêndio}^{-1}$ ($s = 4,9 \text{ mm decêndio}^{-1}$), sendo que a diferença total anual foi de $451,9 \text{ mm ano}^{-1}$, enquanto que entre a $P_{T1,33 \text{ anos}}$ e a ETo média foi de $369,4 \text{ mm ano}^{-1}$, o que representa uma redução de 18,2% na ETo anual. A maior amplitude encontrada foi de $25,4 \text{ mm decêndio}^{-1}$ e ocorreu no decêndio 35 (07/12 a 16/12). A menor amplitude foi de $3,3 \text{ mm decêndio}^{-1}$ e ocorreu no decêndio 31 (28/10 a 06/11). Os dados de $P_{T1,33 \text{ anos}}$ e $ETo_{T4 \text{ anos}}$ indicam que a região apresentou necessidade de irrigação suplementar independentemente da época de desenvolvimento da cultura. Considerando períodos de retorno comumente recomendado na literatura para ETo e P, verificou-se que as condições climáticas da região de Ponta Grossa possibilitam que as culturas agrícolas respondam positivamente à instalação de sistemas de irrigação em decorrência da alta probabilidade de deficiências de água no solo.

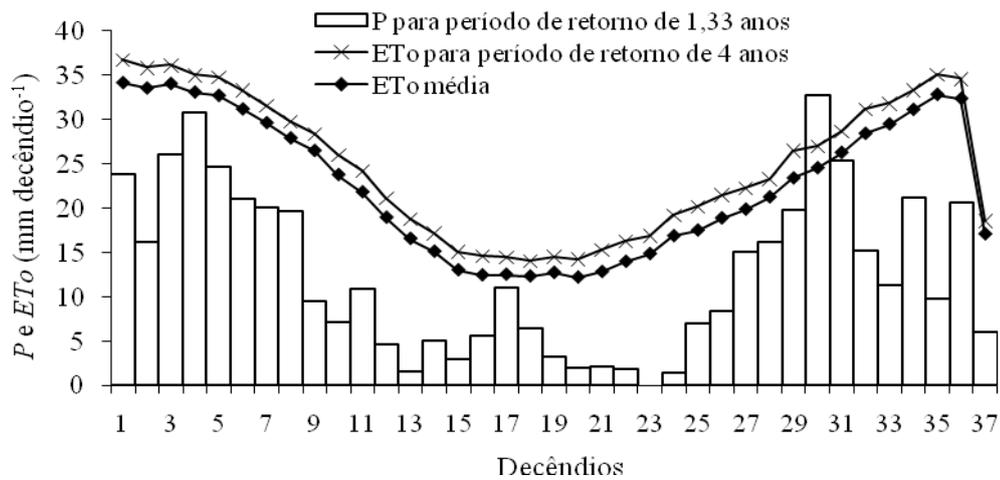


Figura 5. Valores decendiais de precipitação para um período de retorno de 1,33 anos, evapotranspiração para um período de retorno de 4 anos e evapotranspiração de referência média para a região de Ponta Grossa-PR.

As considerações feitas sobre os resultados dispostos nas Figuras 4 e 5 são contrastantes, apesar de ambas representarem a P e a ETo da região de Ponta Grossa. Baseando-se em valores médios de P e ETo, observou-se que é desnecessária a instalação de sistemas de irrigação. Por outro lado, ficou evidente a necessidade de irrigação suplementar contrastando-se os valores de $P_{T1,33 \text{ anos}}$ e $ETo_{T4 \text{ anos}}$. Desta forma, o retorno econômico de uma determinada cultura e o risco climático e financeiro é que determinarão a possibilidade e viabilidade da realização de projetos de irrigação na região.

Diante dos resultados verificou-se que os valores de $P_{T1,33 \text{ anos}}$ devem ser utilizados como base para as simulações dos balanços hídricos para fins de planejamento agrícola para a região de Ponta Grossa, pois a utilização de valores médios de precipitação em estudos de planejamento não mostrou-se indicada. Resultados semelhantes também foram obtidos por Frizzone et al. (1985).

6 CONCLUSÕES

A ETo decencial média estimada para Ponta Grossa-PR apresenta melhor ajuste as distribuições Normal e Gama, sendo que a precipitação decencial média de Ponta Grossa-PR segue as distribuições Gama e Exponencial.

A $P_{T1,33 \text{ anos}}$ correspondeu, em média, a 26,1% ($32,4 \text{ mm decêndio}^{-1}$) da precipitação média decencial e foi menor que a precipitação média ao longo de todo o ano.

Valores prováveis de P devem ser utilizados para simulações de atividades visando o planejamento, projeto e manejo agrícola da região de Ponta Grossa.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, W.F.; et al. Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, p.563-567, 2001.

ASSIS, F.N.; ARRUDA, H.V.; PEREIRA, A.R. **Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática**. Pelotas: Ed. Universitária UFPel, 1996. 161p.

ÁVILA, L.F.; MELLO, C.R.; VIOLA, M.R. Mapeamento da precipitação mínima provável para o sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.906-915, 2009.

BACK, A.J. Seleção de distribuição de probabilidade para chuvas diárias extremas do Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.16, p.211-222, 2001.

BRAGANÇA, R. **Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no Estado do Espírito Santo**. 69p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Fitotecnia), Universidade Federal do Espírito Santo, 2007.

CASTRO, M.C.; FARIA, M.A.; SILVA, A.M. Sistema computacional para a determinação da lâmina ótima econômica em irrigação pressurizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.6, p.372-378, 2002.

FRIZZONE, J.A.; et al. **Planejamento de irrigação: análise e decisão de investimento**. Brasília: Embrapa, 2005.

FRIZZONE, J.A.; RETTORE, P.R.; PEREIRA, G.T. Análise da distribuição e frequência das precipitações em períodos de 5 e 10 dias, na região de Pereira Barreto (SP), utilizando a distribuição Gama incompleta. **ITEM, Irrigação e Tecnologia Moderna**, n.22, 1985.

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.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PRUITT, W.O.; OETTINGEN, S.V.; MORGAN, D.L. Central California evapotranspiration frequencies. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v.98, p.177-184, 1972.

RIBEIRO, A.M.A.; LUNARDI, D.M.C. A precipitação mensal provável para Londrina - PR, através da função gama. **Revista Energia na Agricultura**. v.12, p.37-44, 1997.

SAAD, J.C.C.; SCALOPPI, E. J. **Frequência de distribuição de evapotranspiração para dimensionamento de sistema de irrigação**. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9, 1988, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ABID, Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, v.2, p.1037-105, 1988.

SAMPAIO, S.C.; et al. Estimativa e distribuição de precipitações decendiais para o Estado do Paraná. **Irriga**, v.12, p.38-53, 2007.

SOCCOL, O.J.; CARDOSO, C.O.; MIQUELLUTI, D.J. Análise da precipitação mensal provável para o município de Lages, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.569-574, 2010.

SOUZA, J.L.M. **Modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro**. Piracicaba, 2001. 253p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

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