

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE DOUTORADO TEMÁTICO  
DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS**

**ESTUDO DA EVAPORAÇÃO NAS MICRORREGIÕES DO CARIRI E SERTÃO DA  
PARAÍBA**

**GERTRUDES MACARIO DE OLIVEIRA**

**CAMPINA GRANDE - PB  
ABRIL/2003**

GERTRUDES MACARIO DE OLIVEIRA

ESTUDO DA EVAPORAÇÃO NAS MICRORREGIÕES DO CARIRI E SERTÃO DA  
PARAÍBA

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em  
Recursos Naturais, da Universidade Federal de  
Campina Grande, em cumprimento às exigências  
para obtenção do grau de Doutor em Recursos  
Naturais

Área de Concentração: Água e Solo

Orientador

Dr. Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão

Campina Grande – PB

Abril - 2003

GERTRUDES MACÁRIO DE OLIVEIRA

ESTUDO DA EVAPORAÇÃO NAS MICRORREGIÕES DO CARIRI E SERTÃO  
DA PARAÍBA

APROVADA EM: 11/04/2003

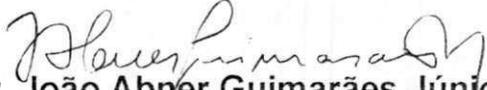
**BANCA EXAMINADORA:**

  
**Prof. Dr. Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão**

Departamento de Ciências Atmosféricas – DCA  
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

  
**Prof. ARTHUR MATTOS**

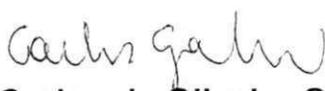
Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – LARHSA  
Centro de Tecnologia - CT  
Universidade Federal do Rio grande do Norte - UFRN

  
**Prof. Dr. João Abner Guimarães Júnior**

Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte IGARN  
Governo do Estado do Rio Grande do Norte - GERN

  
**Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa**

Departamento de Ciências Atmosféricas – DCA  
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

  
**Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão**

Departamento de Engenharia Civil – DEC  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Aos meus pais  
Afonso Jordão de Oliveira e  
Lindalva Macario de Oliveira  
irmãos e sobrinhos,

DEDICO.

Ao meu esposo Mário e aos meus filhos  
Rodolfo e Rodrigo,

OFEREÇO.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, por me conceder forças para enfrentar todos os obstáculos encontrados, sem o qual, seria difícil a conclusão de mais uma importante caminhada.

Em especial, ao Professor Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão, por todo o seu empenho, esforços e dedicação para a realização deste trabalho, pelo seu companheirismo, paciência, incentivo, compreensão e eficiente orientação.

A Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, na pessoa da Dra. Aracilba Alves da Rocha, pelo apoio financeiro dada a realização desta pesquisa e ao ex-Diretor do Escritório Regional da CAGEPA de Patos, José Victor Motta.

A Associação Técnico Científica Ernesto de Oliveira Júnior - ATECEL, na pessoa do Sr. Diretor Professor Nilson Feitosa, pela importantíssima participação na construção das estações experimentais, sem as quais, este trabalho não teria sido realizado.

A coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pelo apoio financeiro concedido durante a vigência do curso.

A Coordenação do Curso de Doutorado em Recursos Naturais, na Pessoa do Prof. Pedro Vieira de Azevedo, pelo apoio dado durante a realização do curso.

Ao Sr. Antônio Leitão Sobrinho, pela sua dedicação, responsabilidade e eficiente desempenho das atividades realizadas na Estação de Patos.

Ao DNOCS, na pessoa do funcionário Everaldo Jacobino de Moura e ao funcionário da Escola Agrícola de Boqueirão Genival Moura de Miranda, pela valiosa contribuição dada nos trabalhos de coleta de dados na Estação de Boqueirão.

A Escola Agrícola de Boqueirão, na pessoa de seu Diretor Antônio Aquino, pelo apoio dado na construção da Estação de Boqueirão.

Ao Laboratório de Hidráulica, na pessoa da funcionária Alrezinha Dantas Veiga por ter possibilitado o acesso ao acervo da Biblioteca de Recursos Hídricos e permitido a obtenção de artigos científicos, importantes para a realização deste trabalho.

A todos os meus familiares, pelo carinho e apoio dado durante esta caminhada.

A Maria das Dores, Mônica Gonçalves e Joanda Andrade, pelo carinho e dedicação com os meus filhos.

Enfim, meus sinceros agradecimentos a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

A presente pesquisa teve como objetivo principal estudar as perdas por evaporação no semi-árido do Nordeste, tomando como base duas regiões climáticas distintas da Paraíba, o Cariri e o Sertão, para que se pudesse conhecer de forma mais profunda, as influências climáticas locais sobre o processo de evaporação em açudes. Isto se justifica tendo em vista que na região semi-árida, devido às condições climáticas favoráveis, a evaporação representa a maior perda nos reservatórios, sendo portanto, um dos parâmetros meteorológicos mais importantes para o gerenciamento dos recursos hídricos. Por outro lado, as informações específicas sobre evaporação em açudes e reservatórios são escassas e muitas vezes, para efetuar-se o balanço hídrico, são utilizados métodos de estimativas de evaporação que geralmente não representam a realidade. Deste modo, usou-se diferentes tipos de tanques evaporimétricos, afim de determinar-se o mais adequado e viável processo de medida e os melhores métodos de estimativa da evaporação. A parte experimental desta pesquisa foi conduzida nas cidades de Boqueirão (lat. 07° 29'S; long. 36° 07'W; alt. 380m) e Patos (lat. 07° 01'S; long. 37° 17'W; alt. 250m), no período de abril de 2002 a fevereiro de 2003. Durante o período experimental utilizando-se sistemas automáticos de aquisição de dados, programados para efetuarem leituras a cada segundo e médias a cada 30 minutos, foram efetuadas medidas dos seguintes parâmetros climáticos: temperatura e umidade relativa do ar, temperatura da água dos tanques evaporimétricos, radiação global e saldo de radiação, precipitação pluviométrica, velocidade e direção do vento, bem como, temperatura da água dos açudes Epitácio Pessoa em Boqueirão e Jatobá em Patos. Também foram efetuadas diariamente às 09:00h, observações nos tanques evaporimétricos, medidas do nível da água dos referidos açudes e leituras pluviométricas. Os resultados obtidos mostraram que, devido a sua exposição e constituição metálica, o tanque Classe A, foi muito mais influenciado pelas condições climáticas do que os demais tipos de tanques. Observou-se também que ao longo do período estudado, a evaporação indicada no tanque Classe A sobrestimou a evaporação do tanque padrão. No entanto, ao ser corrigido pelo fator tradicionalmente adotado de 0,70, o tanque classe A, subestimou a evaporação observada no tanque padrão durante todo o período estudado, produzindo particularmente no período frio e úmido, erros ainda mais acentuados. Por outro lado, verificou-se que o uso de tanques tubulares de cimento, possibilitou a obtenção de medidas muito mais precisas de evaporação do que o tanque Classe A. Ao contrário do Classe A, que apresentou coeficientes de tanque (kp) com significativas variações (0,93 a 0,76), entre os períodos frio e quente, estes tanques mostraram pequenas variações de coeficiente (1,00 a 0,93). Os resultados também mostraram que o percentual da evaporação no rebaixamento da lâmina d'água dos açudes Epitácio Pessoa em Boqueirão e Jatobá em Patos, parecem ser maiores do que se imaginava. Pois, mesmo tendo sido o período de abril/2002 a fevereiro/2003 de plena normalidade em termos de ocorrência de chuvas, em Boqueirão, a evaporação representou em média durante o período estudado 56,9% da lâmina d'água rebaixa. Particularmente, em Boqueirão, no mês de abril de 2002, este índice representou 62,8% e nos meses de dezembro/2002 e janeiro/2003, superou os 60%. Em Patos, o índice médio para o período abril a dezembro/2002 representou 65% da lâmina rebaixada, porém, com o início da operação da adutora de Coremas, o açude Jatobá deixou de fornecer água para o abastecimento, e em janeiro e fevereiro/2003, a evaporação representou mais de 88% da lâmina d'água rebaixada nestes meses. Nenhum dos modelos de estimativa de evaporação estudados, apresentou boa performance para estimativas diárias, exceto em alguns dias, porém, em termos de evaporação para todo o período, os modelos de Snyder (1992) e Kohler et al. (1955) apresentaram erros relativos de -5,9 e 5,0%, respectivamente.

## ABSTRACT

The main objective of this research is to study the influence of the local climate on the evaporation losses of lakes and reservoirs in the semi-arid region of the Northeast. Evaporation in the reservoirs represents the main loss of water, in the semi-arid regions, due to the favorable climatic conditions and it is one of the important meteorological parameters in the management of water resources. Specific information about the evaporation from the lakes and reservoirs is not always available for water balance studies. There is the necessity of estimating the values of evaporation using some methods in many cases the estimate value may be different from the real evaporation. On this, research three different types of tank evaporimeters were used to determine the more adequate and viable process of measurement and also the best method to estimate the evaporation. The experimental part was conducted in two different climatic regions in the state of Paraíba. The experiments were installed in the cities of Boqueirão (lat. 07° 29'S; long. 36° 07'W; alt. 380m) and Patos (lat. 07° 01'S; long. 37° 17'W; alt. 250m), during the period of April 2002 to February 2003. Automatic data acquisition systems were programmed to collect the data once in a second and store the 30 minutes mean data. The meteorological parameters observed were: temperature and relative humidity of air, temperature of the water in the tank evaporimeters, global radiation, net radiation, rainfall, wind velocity and direction and also the water temperature of the reservoirs of "Epitácio Pessoa" in the city of Boqueirão and "Jatobá" in the city of Patos. Daily observations of tank evaporimeters, rainfall and water level of two reservoirs were also made at 09:00h. The results show that, perhaps, due to its exposure and metallic constitution, the Class A tank was much more influenced by the climatic conditions than the other types of the tanks. It is also observed during study period that the evaporation indicated by the Class A tank super estimated the evaporation of the standard tank. When it is corrected by the traditional factor of 0.70, the Class A tank underestimated the observed evaporation in the standard tank during the entire period of study and this error was increased during the humid and cold periods. On the other hand, it is verified that the use of cement tank made it possible to obtain more precise measurements of evaporation than the Class A tank. Unlike Class A tank, which presented tank coefficients (kp) with significant variations of 0.93 to 0.76, between the cold and warm periods, these tanks showed less variations of the coefficient (1.00 to 0.93). The results also showed that the evaporation percentage in the total loss of the "Epitácio Pessoa" and "Jatobá" reservoirs seemed to be more than the expected evaporation. Even though, the rains in "Boqueirão" were normal during the period of study, the mean evaporation was 56.9% of the total water loss. Particularly, in Boqueirão, in the month of April of 2002, this index represented 62.8% and in the months of december/2002 and january/2003, it was more than 60%. In Patos the mean index for the period April at december/2002 represented 65% of loss. Because of the inauguration of Coremas system, the Jatobá reservoir stopped supplying water for local needs, in the months of January and February of 2003, the evaporation was about 88% of the total loss of water from the Jatobá reservoirs. None of the evaporation estimation models studies presented good performance for daily estimates, except for few days. In terms of evaporation for the whole period of study, the models of Snyder (1992) and Kohler et al. (1955) presented relatively errors of -5.9 and 5.0%, respectively.

## SUMÁRIO

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE QUADROS E TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

1 – INTRUDUÇÃO	37
2 – REVISÃO DE LITERATURA	41
2.1 – Parte descritiva	41
2.1 – Parte da fundamentação teórica	59
3 – MATERIAL E MÉTODOS	68
3.1 - Localização das áreas estudadas	68
3.2 - Condições climáticas das cidades onde localizaram-se os experimentos	68
3.3 - Medidas de evaporação e instrumental utilizado	71
3.3.1 – Medições	71
3.3.2 – Instrumental utilizado	71
3.4 – Sistemática de observações	73
3.4.1 – Leituras convencionais	73
3.4.2 – Leitura dos sensores elétricos	73
3.5 – Procedimento de limpeza dos tanques evaporimétricos	73
3.6 - Características dos açudes estudados	73
3.7 - Descrição dos tanques evaporimétricos usados	74
3.8 – Métodos	75
3.9 - Análise dos dados	77
3.10 - Estimativa da temperatura mensal dos açudes Epitácio Pessoa e Jatobá	78
3.11 – Análise Estatística dos dados de evaporação	78

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	79
4.1 – Análise da evaporação mensal	79
4.1.1 – Evaporação abril – 2002	79
4.1.2 – Evaporação maio – 2002	84
4.1.3 – Evaporação junho – 2002	89
4.1.4 – Evaporação julho – 2002	93
4.1.5 – Evaporação agosto – 2002	98
4.1.6 – Evaporação setembro – 2002	102
4.1.7 – Evaporação outubro – 2002	106
4.1.8 – Evaporação novembro – 2002	109
4.1.9 – Evaporação dezembro – 2002	113
4.1.10 – Evaporação janeiro – 2003	118
4.1.11 – Evaporação fevereiro – 2003	122
4.2 – Análise diária de alguns parâmetros	128
4.2.1 – BOQUEIRÃO	128
4.2.1.1 - Dia ensolarado	128
4.2.1.2 - Dia com acentuada nebulosidade e ocorrência de precipitação pluviométrica	130
4.2.2 – PATOS	133
4.2.2.1 - Dia ensolarado	133
4.2.2.2 - Dia com acentuada nebulosidade e ocorrência de precipitação pluviométrica	135
4.3 – Análise diária da temperatura da água dos açudes Epitácio Pessoa e Jatobá	138
4.3.1 – Estimativa da temperatura mensal dos açudes Epitácio Pessoa e Jatobá	141
4.4 – Análise da evaporação mensal	147
4.4.1 – Análise por período da performance dos tanques evaporimétricos	153
4.5 – Análise Estatística	160
4.6 – Análise da evaporação para todo o período estudado	162
4.7. Avaliação dos coeficientes de tanque (Kp)	165
4.7.1 – Avaliação dos coeficientes de tanque (Kp) para Boqueirão	165
4.7.2 – Avaliação dos coeficientes de tanque (Kp) para Patos	167
4.8 – Estimativa dos coeficientes de tanque (Kp)	170
4.9 – Estimativas de evaporação	172
4.9.1 – Estimativas da evaporação para Boqueirão	172

4.9.2 – Estimativas da evaporação para Patos	176
4.10 – Relação entre medidas e estimativas da evaporação	180
4.11 – Evaporação e rebaixamento do nível de água dos açudes	181
5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES	183
6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	186
ANEXOS	194

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 .	Área experimental em Boqueirão	70
Figura 3.2 .	Área experimental em Patos	70
Figura 3.3 .	Instalação do sensor de temperatura no açude Jatobá em Patos	72
Figura 4.1 .	Evolução da evaporação diária durante o mês de abril de 2002, em Boqueirão	81
Figura 4.2 .	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de abril de 2002, em Boqueirão	81
Figura 4.3 .	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de abril de 2002, em Boqueirão	81
Figura 4.4 .	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de abril de 2002, em Boqueirão	81
Figura 4.5 .	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de abril de 2002, em Boqueirão	81
Figura 4.6 .	Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente durante o mês de abril de 2002, em Boqueirão	81
Figura 4.7 .	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de abril de 2002, em Boqueirão	82
Figura 4.8 .	Precipitação observada durante o mês de abril de 2002, em Boqueirão	82
Figura 4.9 .	Evolução da evaporação diária durante o mês de abril de 2002, em Patos	83
Figura 4.10 .	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de abril de 2002, em Patos	83
Figura 4.11 .	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de abril de 2002, em Patos	83
Figura 4.12 .	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de abril de 2002, em Patos	83

Figura 4.13 .	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de abril de 2002, em Patos	84
Figura 4.14 .	Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente durante o mês de abril de 2002, em Patos	84
Figura 4.15 .	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de abril de 2002, em Patos	84
Figura 4.16 .	Precipitação observada durante o mês de abril de 2002, em Patos	84
Figura 4.17 .	Evolução da evaporação diária durante o mês de maio de 2002, em Boqueirão	85
Figura 4.18.	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar durante o mês de maio de 2002, em Boqueirão	85
Figura 4.19.	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de maio de 2002, em Boqueirão	86
Figura 4.20.	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de maio de 2002, em Boqueirão	86
Figura 4.21.	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de maio de 2002, em Boqueirão	86
Figura 4.22.	Evolução dos fluxos médios diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante o mês de maio de 2002, em Boqueirão	86
Figura 4.23.	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de maio de 2002, em Boqueirão	86
Figura 4.24.	Precipitação observada durante o mês de maio de 2002, em Boqueirão	86
Figura 4.25.	Evolução da evaporação média diária durante o mês de maio de 2002, em Patos	87
Figura 4.26.	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de maio de 2002, em Patos	87
Figura 4.27.	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de maio de 2002, em Patos	88

Figura 4.28.	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de maio de 2002, em Patos	88
Figura 4.29.	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de maio de 2002, em Patos	88
Figura 4.30.	Evolução dos fluxos médios diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante o mês de maio de 2002, em Patos	88
Figura 4.31.	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de maio de 2002, em Patos	88
Figura 4.32.	Precipitação observada durante o mês de maio de 2002, em Patos	88
Figura 4.33.	Evolução da evaporação média diária durante o mês de junho de 2002, em Boqueirão	90
Figura 4.34.	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de junho de 2002, em Boqueirão	90
Figura 4.35.	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de junho de 2002, em Boqueirão	90
Figura 4.36.	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de junho de 2002, em Boqueirão	90
Figura 4.37.	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de junho de 2002, em Boqueirão	90
Figura 4.38.	Evolução dos fluxos médios diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante o mês de junho de 2002, em Boqueirão	90
Figura 39.	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de junho de 2002, em Boqueirão	91
Figura 4.40.	Precipitação observada durante o mês de junho de 2002, em Boqueirão	91
Figura 4.41.	Evolução da evaporação diária durante o mês de junho de 2002, em Patos	92
Figura 4.42.	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de junho de 2002, em Patos	92

Figura 4.43.	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de junho de 2002, em Patos	92
Figura 4.44.	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de junho de 2002, em Patos	92
Figura 4.45.	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de junho de 2002, em Patos	92
Figura 4.46.	Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante o mês de junho de 2002, em Patos	92
Figura 4.47.	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de junho de 2002, em Patos.	93
Figura 4.48.	Precipitação observada durante o mês de junho de 2002, em Patos	93
Figura 4.49.	Evolução da evaporação diária durante o mês de julho de 2002, em Boqueirão	94
Figura 4.50.	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, de 18 a 31 de julho de 2002, em Boqueirão	94
Figura 4.51.	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, de 18 a 31 de julho de 2002, em Boqueirão	94
Figura 4.52.	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, de 18 a 31 de julho de 2002, em Boqueirão	94
Figura 4.53.	Evolução da umidade relativa do ar média diária de 18 a 31 de julho de 2002, em Boqueirão	95
Figura 4.54.	Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, de 18 a 31 de julho de 2002, em Boqueirão	95
Figura 4.55.	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, de 18 a 31 de julho de 2002, em Boqueirão	95
Figura 4.56.	Precipitação observada durante o mês de julho de 2002, em Boqueirão	95
Figura 4.57.	Evolução da evaporação diária durante o mês de julho de 2002, em Patos	96

Figura 4.58.	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de julho de 2002, em Patos	96
Figura 4.59.	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de julho de 2002, em Patos	97
Figura 4.60.	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de julho de 2002, em Patos	97
Figura 4.61.	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de julho de 2002, em Patos	97
Figura 6.62.	Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante o mês de julho de 2002, em Patos	97
Figura 4.63.	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de julho de 2002, em Patos	97
Figura 4.64.	Precipitação observada durante o mês de julho de 2002, em Patos	97
Figura 4.65.	Evolução da evaporação diária durante o mês de agosto de 2002, em Boqueirão	98
Figura 4.66.	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de agosto de 2002, em Boqueirão	98
Figura 4.67.	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de agosto de 2002, em Boqueirão	99
Figura 4.68.	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de agosto de 2002, em Boqueirão	99
Figura 4.69.	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de agosto de 2002, em Boqueirão	99
Figura 4.70.	Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante o mês de agosto de 2002, em Boqueirão	99
Figura 4.71.	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de agosto de 2002, em Boqueirão	99
Figura 4.72.	Precipitação observada durante o mês de agosto de 2002, em Boqueirão	99

Figura 4.73.	Evolução da evaporação diária durante o mês de agosto de 2002, em Patos	100
Figura 4.74.	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de agosto de 2002, em Patos	100
Figura 4.75.	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de agosto de 2002, em Patos	101
Figura 4.76.	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de agosto de 2002, em Patos	101
Figura 4.77.	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de agosto de 2002, em Patos	101
Figura 4.78.	Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante o mês de agosto de 2002, em Patos	101
Figura 4.79.	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de agosto de 2002, em Patos	101
Figura 4.80.	Precipitação observada durante o mês de agosto de 2002, em Patos	101
Figura 4.81.	Evolução da evaporação diária durante o mês de setembro de 2002, em Boqueirão	102
Figura 4.82.	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de setembro de 2002, em Boqueirão	102
Figura 4.83.	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de setembro de 2002, em Patos	103
Figura 4.84.	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de setembro de 2002, em Boqueirão	103
Figura 4.85.	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de setembro de 2002, em Boqueirão	103
Figura 4.86.	Evolução dos fluxos médios de radiação líquida e radiação solar incidente, durante o mês de setembro de 2002, em Boqueirão	103

Figura 4.87.	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de setembro de 2002, em Boqueirão	103
Figura 4.88.	Precipitação observada durante o mês de setembro de 2002, em Boqueirão	103
Figura 4.89.	Evolução da evaporação diária durante o mês de setembro de 2002, em Patos	105
Figura 4.90.	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de setembro de 2002, em Patos	105
Figura 4.91.	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de setembro de 2002, em Patos .	105
Figura 4.92.	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de setembro de 2002, em Patos	105
Figura 4.93.	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de setembro de 2002, em Patos	105
Figura 4.94	. Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante o mês de setembro de 2002, em Patos	105
Figura 4.95.	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de setembro de 2002, em Patos	106
Figura 4.96.	Precipitação observada durante o mês de setembro de 2002, em Patos	106
Figura 4.97.	Evolução da evaporação diária durante o mês de outubro de 2002, em Boqueirão	107
Figura 4.98.	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de outubro de 2002, em Boqueirão	107
Figura 4.99.	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de outubro de 2002, em Boqueirão	107

Figura 4.100.	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de outubro de 2002, em Boqueirão	107
Figura 4.101.	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de outubro de 2002, em Boqueirão	107
Figura 4.102.	Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante o mês de outubro de 2002, em Boqueirão	107
Figura 4.103.	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de outubro de 2002, em Boqueirão	108
Figura 4.104.	Precipitação observada durante o mês de outubro de 2002, em Boqueirão	108
Figura 4.105.	Evolução da evaporação diária durante o mês de outubro de 2002, em Patos	109
Figura 4.106.	Precipitação observada durante o mês de outubro de 2002, em Patos	109
Figura 4.107.	Evolução da evaporação diária durante o mês de novembro de 2002, em Boqueirão	110
Figura 4.108.	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de novembro de 2002, em Boqueirão	110
Figura 4.109.	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de novembro de 2002, em Boqueirão	110
Figura 4.110.	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de novembro de 2002, em Boqueirão	110
Figura 4.111.	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de novembro de 2002, em Boqueirão	110
Figura 4.112.	Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante o mês de novembro de 2002, em Boqueirão	110
Figura 4.113.	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de novembro de 2002, em Boqueirão	111

Figura 4.114.	Precipitação observada durante o mês de novembro de 2002, em Boqueirão	111
Figura 4.115.	Evolução da evaporação diária durante o mês de novembro de 2002, em Patos	112
Figura 4.116.	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de novembro de 2002, em Patos	112
Figura 4.117.	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de novembro de 2002, em Patos	112
Figura 4.118.	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de novembro de 2002, em Patos	112
Figura 4.119.	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de novembro de 2002, em Patos	113
Figura 4.120.	Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante o mês de novembro de 2002, em Patos	113
Figura 121.	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de novembro de 2002, em Patos	165
Figura 4.122.	Precipitação observada durante o mês de novembro de 2002, em Patos	113
Figura 4.123.	Evolução da evaporação diária durante o mês de dezembro de 2002, em Boqueirão	114
Figura 4.124.	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de dezembro de 2002, em Boqueirão	114
Figura 4.125.	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de dezembro de 2002, em Boqueirão	115
Figura 4.126.	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de dezembro de 2002, em Boqueirão	115
Figura 4.127.	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de dezembro de 2002, em Boqueirão	115

Figura 4.128.	Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante o mês de dezembro de 2002, em Boqueirão	115
Figura 4.129.	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de dezembro de 2002, em Boqueirão	115
Figura 4.130.	Precipitação observada durante o mês de dezembro de 2002, em Boqueirão	115
Figura 4.131.	Evolução da evaporação diária durante o mês de dezembro de 2002, em Patos	117
Figura 4.132.	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de dezembro de 2002, em Patos	117
Figura 4.133.	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de dezembro de 2002, em Patos	117
Figura 4.134.	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de dezembro de 2002, em Patos	117
Figura 4.135.	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de dezembro de 2002, em Patos	117
Figura 4.136.	Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante o mês de dezembro de 2002, em Patos	117
Figura 4.137.	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de dezembro de 2002, em Patos	118
Figura 4.138.	Precipitação observada durante o mês de dezembro de 2002, em Patos	118
Figura 4.139.	Evolução da evaporação diária durante o mês de janeiro de 2003, em Boqueirão	119
Figura 4.140.	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de janeiro de 2003, em Boqueirão	119
Figura 4.141.	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de janeiro de 2003, em Boqueirão	119

Figura 4.142.	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de janeiro de 2003, em Boqueirão	119
Figura 4.143.	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de janeiro de 2003, em Boqueirão	119
Figura 4.144.	Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante o mês de janeiro de 2003, em Boqueirão	119
Figura 4.145.	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de janeiro de 2003, em Boqueirão	120
Figura 4.146.	Precipitação observada durante o mês de janeiro de 2003, em Boqueirão	120
Figura 4.147.	Evolução da evaporação diária durante o mês de janeiro de 2003, em Patos	121
Figura 4.148.	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de janeiro de 2003, em Patos	121
Figura 4.149.	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de janeiro de 2003, em Patos	121
Figura 4.150.	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de janeiro de 2003, em Patos	121
Figura 4.151.	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de janeiro de 2003, em Patos	122
Figura 4.152.	Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante o mês de janeiro de 2003 em Patos	122
Figura 4.153.	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de janeiro de 2003, em Patos	122
Figura 4.154.	Precipitação observada durante o mês de janeiro de 2003, em Patos	122
Figura 4.155.	Evolução da evaporação diária durante o mês de fevereiro de 2003, em Boqueirão	123

Figura 4.156.	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de fevereiro de 2003, em Boqueirão	123
Figura 4.157.	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de fevereiro de 2003, em Boqueirão	124
Figura 4.158.	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de fevereiro de 2003, em Boqueirão	124
Figura 4.159.	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de fevereiro de 2003, em Boqueirão	124
Figura 4.160.	Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante o mês de fevereiro de 2003, em Boqueirão	124
Figura 4.161.	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de fevereiro de 2003, em Boqueirão	124
Figura 4.162.	Precipitação observada durante o mês de fevereiro de 2003, em Boqueirão	124
Figura 4.163.	Evolução da evaporação diária durante o mês de fevereiro de 2003, em Patos	126
Figura 4.164.	Evolução diária da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de fevereiro de 2003, em Patos	126
Figura 4.165.	Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de fevereiro de 2003, em Patos	126
Figura 4.166.	Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante o mês de fevereiro de 2003, em Patos	126
Figura 4.167.	Evolução da umidade relativa do ar média diária durante o mês de fevereiro de 2003, em Patos	126
Figura 4.168.	Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante o mês de fevereiro de 2003, em Patos	126

Figura 4.169.	Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante o mês de fevereiro de 2003, em Patos	127
Figura 4.170.	Precipitação observada durante o mês de fevereiro de 2003, em Patos	127
Figura 4.171.	Evolução da temperatura média da água dos tanques evaporimétricos e do ar a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (06/12/2002), em Boqueirão	129
Figura 4.172.	Evolução dos fluxos médios de radiação líquida e global, a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (06/12/2002), em Boqueirão	130
Figura 4.173.	Evolução da velocidade média do vento a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (06/12/2002), em Boqueirão	130
Figura 4.174.	Comportamento da direção predominante do vento a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (06/12/2002), em Boqueirão	130
Figura 4.175.	Comportamento da umidade relativa do ar, a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (06/12/2002), em Boqueirão	130
Figura 4.176.	Evolução da temperatura média da água dos tanques evaporimétricos e do ar a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Boqueirão	131
Figura 4.177.	Evolução dos fluxos médios de radiação líquida e global, a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Boqueirão	132
Figura 4.178.	Evolução da velocidade média do vento a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Boqueirão	132
Figura 4.179.	Comportamento da direção predominante do vento a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Boqueirão	133
Figura 4.180.	Comportamento da umidade relativa do ar, a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Boqueirão	133
Figura 4.181.	Precipitação acumulada a cada 30 minutos, durante o dia 06/05/2002, em Boqueirão	133
Figura 4.182.	Evolução da temperatura média da água dos tanques evaporimétricos e do ar a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (12/12/2002), em Patos	134

Figura 4.183.	Evolução dos fluxos médios de radiação líquida e global, a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (12/12/2002), em Patos	135
Figura 4.184.	Evolução da velocidade média do vento a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (12/12/2002), em Patos	135
Figura 4.185.	Comportamento da direção predominante do vento a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (12/12/2002), em Patos	135
Figura 4.186.	Comportamento da umidade relativa do ar, a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (12/12/2002), em Patos	135
Figura 4.187.	Evolução da temperatura média da água dos tanques evaporimétricos e do ar a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Patos	136
Figura 4.188.	Evolução dos fluxos médios de radiação líquida e global, a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Patos	137
Figura 4.189.	Evolução da velocidade média do vento a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Patos	137
Figura 4.190.	Comportamento da direção predominante do vento a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Patos	138
Figura 4.191.	Comportamento da umidade relativa do ar, a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Patos	138
Figura 4.192.	Precipitação acumulada a cada 30 minutos, durante o dia 06/05/2002, em Patos	138
Figura 4.193.	Evolução diária média a cada meia hora da temperatura da água do açude Epitácio Pessoa, dos tanques evaporimétricos e do ar no dia 16/08/2002	140
Figura 4.194.	Evolução diária média a cada meia hora da temperatura da água do açude Jatobá e dos tanques evaporimétricos e do ar para o dia 18/08/2002	141
Figura 4.195.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o período frio em Boqueirão	154
Figura 4.196.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o período frio em Boqueirão	154

Figura 4.197.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o período frio em Boqueirão	154
Figura 4.198.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA corrigido, para o período frio em Boqueirão	154
Figura 4.199.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o período quente em Boqueirão	155
Figura 4.200.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o período quente em Boqueirão	155
Figura 4.201.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o período quente em Boqueirão	155
Figura 4.202.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA corrigido, para o período quente em Boqueirão	155
Figura 4.203.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para todo o período em Boqueirão	155
Figura 4.204.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para todo o período em Boqueirão	155
Figura 4.205.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para todo o período em Boqueirão	156
Figura 4.206.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA corrigido, para todo o período em Boqueirão	156
Figura 4.207.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o período frio em Patos	158
Figura 4.208.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o período frio em Patos	158
Figura 4.209.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o período frio em Patos	158
Figura 4.210.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA corrigido, para o período frio em Patos	158
Figura 4.211.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o período quente em Patos	158
Figura 4.212.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o período quente em Patos	158

Figura 4.213.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o período quente em Patos	159
Figura 4.214.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA corrigido, para o período quente em Patos	159
Figura 4.215.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para todo o período em Patos	159
Figura 4.216.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para todo o período em Patos	159
Figura 4.217.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para todo o período em Patos	159
Figura 4.218.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA corrigido, para todo o período em Patos	159
Figura 4.219.	Evolução da evaporação dos tanques padrão e T1,0m em Boqueirão, ao longo do período estudado	163
Figura 4.220.	Evolução da evaporação dos tanques padrão e T0,5m em Boqueirão, ao longo do período estudado	163
Figura 4.221.	Evolução da evaporação dos tanques padrão e TCA em Boqueirão, ao longo do período estudado	163
Figura 4.222.	Evolução da evaporação dos tanques padrão e TCA corrigido em Boqueirão, ao longo do período estudado	163
Figura 4.223.	Evolução da evaporação dos tanques padrão e T1,0m em Patos, ao longo do período estudado	164
Figura 4.224.	Evolução da evaporação dos tanques padrão e T0,5m em Patos, ao longo do período estudado	164
Figura 4.225.	Evolução da evaporação dos tanques padrão e TCA em Patos, ao longo do período estudado	164
Figura 4.226.	Evolução da evaporação dos tanques padrão e TCA corrigido em Patos, ao longo do período estudado	164
Figura 4.227.	Evolução da evaporação do tanque padrão e das evaporações corrigidas dos tanques T1,0m e T0,5m, para janeiro de 2003 em Boqueirão	166

Figura 4.228.	Evolução da evaporação do tanque padrão e da evaporação do tanque TCA corrigida pelos fatores 0,79 e 0,70, para janeiro de 2003 em Boqueirão	166
Figura 4.229.	Evolução da evaporação do tanque padrão e das evaporações corrigidas dos tanques T1,0m e T0,5m, para fevereiro de 2003 em Boqueirão	167
Figura 4.230.	Evolução da evaporação do tanque padrão e da evaporação do tanque TCA corrigida pelos fatores 0,79 e 0,70, para fevereiro de 2003 em Boqueirão	167
Figura 4.231.	Evolução da evaporação do tanque padrão e das evaporações corrigidas dos tanques T1,0m e T0,5m, para janeiro de 2003 em Patos	169
Figura 4.232.	Evolução da evaporação do tanque padrão e da evaporação do tanque TCA corrigida pelos fatores 0,79 e 0,70, para janeiro de 2003 em Patos	169
Figura 4.233.	Evolução da evaporação do tanque padrão e das evaporações corrigidas dos tanques T1,0m e T0,5m, para fevereiro de 2003 em Patos	169
Figura 4.234.	Evolução da evaporação do tanque padrão e da evaporação do tanque TCA corrigida pelos fatores 0,79 e 0,70, para fevereiro de 2003 em Patos	169
Figura 4.235.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Penman para o período frio em Boqueirão	174
Figura 4.236.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método do balanço de energia para o período frio em Boqueirão	174
Figura 4.237.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Gangopadhyaya et al. (1966) e Hounam (1973) para o período frio em Boqueirão	174
Figura 4.238.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Linacre (1993) para o período frio em Boqueirão	174
Figura 4.239.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Snyder (1992) para o período frio em Boqueirão	174
Figura 4.240.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Kohler et al. (1955) para o período frio em Boqueirão	174
Figura 4.241.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Penman para o período quente em Boqueirão	175

Figura 4.242.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método do balanço de energia para o período quente em Boqueirão	175
Figura 4.243.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Gangopadhyaya et al. (1966) e Hounam (1973) para o período quente em Boqueirão	175
Figura 4.244.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Linacre (1993) para o período quente em Boqueirão	175
Figura 4.245.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Snyder (1992) para o período quente em Boqueirão	175
Figura 4.246.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Kohler et al. (1955) para o período quente em Boqueirão	175
Figura 4.247.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Penman para o período frio em Patos	178
Figura 4.248.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método do balanço de energia para o período frio em Patos	178
Figura 4.249.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Gangopadhyaya et al. (1966) e Hounam (1973) para o período frio em Patos	178
Figura 4.250.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Linacre (1993) para o período frio em Patos	178
Figura 4.251.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Snyder (1992) para o período frio em Patos	178
Figura 4.252.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Kohler et al. (1955) para o período frio em Patos	178
Figura 4.253.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Penman para o período quente em Patos	179
Figura 4.254.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método do balanço de energia para o período quente em Patos	179
Figura 4.255.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Gangopadhyaya et al. (1966) e Hounam (1973) para o período quente em Patos	179

Figura 4.256.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Linacre (1993) para o período quente em Patos	179
Figura 4.257.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Snyder (1992) para o período quente em Patos	179
Figura 4.258.	Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Kohler et al. (1955) para o período quente em Patos	179
Figura 4.259.	Evolução mensal das lâminas rebaixada e evaporada no açude Epitácio Pessoa em Boqueirão, no período abril/2002 a fevereiro/2003	182
Figura 4.260.	Evolução mensal das lâminas rebaixada e evaporada no açude Jatobá em Patos, durante o período abril/2002 a fevereiro/2003	182

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 3.1.	Localização das cidades onde foram instaladas as áreas experimentais	69
Tabela 3.1.	Médias mensais de temperatura, precipitação e evaporação para Boqueirão e Patos. Fonte: LMRS-PB; DCA/UFCG	69
Tabela 4.1.	Evaporação média diária dos tanques evaporimétricos para cada mês em Boqueirão e Patos	128
Tabelas 4.2a a 4.2f.	Coeficientes linear (a), angular (b), de determinação ( $R^2$ ) e o erro padrão de estimativa (EPE) obtidos com base na regressão linear entre as temperaturas do açude Epitácio Pessoa e dos tanques evaporimétricos e do ar, em Boqueirão.	142
Tabelas 4.3a a 4.3f.	Coeficientes linear (a), angular (b), de determinação ( $R^2$ ) e o erro padrão de estimativa (EPE) obtidos com base na regressão linear entre as temperaturas do açude Jatobá e dos tanques evaporimétricos e do ar, em Patos.	145
Tabela 4.4.	Totais mensais de evaporação (mm) de abril de 2002 a fevereiro de 2003 em Boqueirão	148
Tabela 4.5.	Coeficientes de tanque ( $K_p$ ), determinação ( $R^2$ ) e erro padrão de estimativa (EPE) mensal, para o período de abril a dezembro de 2002 em Boqueirão	149
Tabela 4.6.	Diferença entre a evaporação mensal de cada tanque evaporimétrico em relação ao tanque padrão e o erro relativo, no período de abril/2002 a fevereiro/2003 em Boqueirão	149
Tabela 4.7.	Totais mensais de evaporação (mm) de abril de 2002 a fevereiro de 2003 em Patos	151
Tabela 4.8.	Coeficientes de tanque ( $K_p$ ), determinação ( $R^2$ ) e erro padrão de estimativa (EPE) mensal, para o período de abril a dezembro de 2002 em Patos	152
Tabela 4.9.	Diferença entre a evaporação mensal de cada tanque evaporimétrico em relação ao tanque padrão e erro relativo, no período de abril de 2002 a fevereiro de 2003 em Patos	152
Tabela 4.10.	Coeficiente de tanque ( $K_p$ ), erro padrão de estimativa e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para os períodos frio, quente e total em Boqueirão	154

Tabela 4.11.	Coeficiente de tanque ( $K_p$ ), erro padrão de estimativa e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), para o período frio, período quente e todo o período em Patos	157
Tabela 4.12.	Análise estatística dos dados médios mensais diários de evaporação dos tanques evaporimétricos, para os períodos frio e quente em Boqueirão	160
Tabela 4.13.	Análise estatística dos dados médios mensais diários de evaporação dos tanques evaporimétricos, para os períodos frio e quente em Patos	161
Tabela 4.14.	Coeficientes de tanque ( $K_p$ ) observados para janeiro e fevereiro de 2003 e o médio calculado para o período quente em Boqueirão	167
Tabela 4.15.	Coeficientes de tanque ( $K_p$ ) observados para janeiro e fevereiro de 2003 e o médio calculado para o período quente em Patos	169
Tabela 4.16.	Equações obtidas por regressão múltipla para os tanques T1,0m; T0,5m e TCA em Boqueirão, com base nos dados climáticos (T, U e UR), observados de abril a dezembro de 2002	170
Tabela 4.17.	Coeficientes de tanque ( $K_p$ ) observados e calculados para os meses de janeiro e fevereiro de 2003 em Boqueirão	170
Tabela 4.18.	Equações obtidas por regressão múltipla para os tanques T1,0m; T0,5m e TCA em Patos, com base nos dados climáticos (T, U e UR), observados de abril a dezembro de 2002	171
Tabela 4.19.	Coeficientes de tanque ( $K_p$ ) observados e calculados para os meses de janeiro e fevereiro de 2003 em Patos	171
Tabela 4.20.	Totais mensais da evaporação medidas e estimativas para o período de abril/2002 a fevereiro/2003 em Boqueirão	173
Tabela 4.21.	Totais mensais da evaporação medidas e estimativas para o período de abril/2002 a fevereiro/2003 em Patos	177
Tabela 4.22.	Coeficientes de relação entre as medidas de evaporação e os métodos de estimativas para Boqueirão	180
Tabela 4.23.	Coeficientes de relação entre as medidas de evaporação e os métodos de estimativas para Patos	181

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o mês de abril de 2002 em Boqueirão	195
Anexo 2.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o mês de abril de 2002 em Boqueirão	195
Anexo 3.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o mês de abril de 2002 em Boqueirão	195
Anexo 4.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o mês de maio de 2002 em Boqueirão	195
Anexo 5.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o mês de maio de 2002 em Boqueirão	195
Anexo 6.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o mês de maio de 2002 em Boqueirão	195
Anexo 7.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o mês de junho de 2002 em Boqueirão	196
Anexo 8.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o mês de junho de 2002 em Boqueirão	196
Anexo 9.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o mês de junho de 2002 em Boqueirão	196
Anexo 10.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o mês de julho de 2002 em Boqueirão	196
Anexo 11.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o mês de julho de 2002 em Boqueirão	196
Anexo 12.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o mês de julho de 2002 em Boqueirão	196
Anexo 13.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o mês de agosto de 2002 em Boqueirão	197
Anexo 14.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o mês de agosto de 2002 em Boqueirão	197
Anexo 15.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o mês de agosto de 2002 em Boqueirão	197

Anexo 16.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o mês de setembro de 2002 em Boqueirão	197
Anexo 17.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o mês de setembro de 2002 em Boqueirão	197
Anexo 18.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o mês de setembro de 2002 em Boqueirão	197
Anexo 19.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o mês de outubro de 2002 em Boqueirão	198
Anexo 20.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o mês de outubro de 2002 em Boqueirão	198
Anexo 21.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o mês de outubro de 2002 em Boqueirão	198
Anexo 22.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o mês de novembro de 2002 em Boqueirão	198
Anexo 23.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o mês de novembro de 2002 em Boqueirão	198
Anexo 24.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o mês de novembro de 2002 em Boqueirão	198
Anexo 25.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o mês de dezembro de 2002 em Boqueirão	199
Anexo 26.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o mês de dezembro de 2002 em Boqueirão	199
Anexo 27.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o mês de dezembro de 2002 em Boqueirão	199
Anexo 28.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o mês de abril de 2002 em Patos	199
Anexo 29.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o mês de abril de 2002 em Patos	199
Anexo 30.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o mês de abril de 2002 em Patos	199
Anexo 31.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o mês de maio de 2002 em Patos	200

Anexo 32.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o mês de maio de 2002 em Patos	200
Anexo 33.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o mês de maio de 2002 em Patos	200
Anexo 34.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o mês de junho de 2002 em Patos	200
Anexo 35.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o mês de junho de 2002 em Patos	200
Anexo 36.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o mês de junho de 2002 em Patos	200
Anexo 37.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o mês de julho de 2002 em Patos	201
Anexo 38.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o mês de julho de 2002 em Patos	201
Anexo 39.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o mês de julho de 2002 em Patos	201
Anexo 40.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o mês de agosto de 2002 em Patos	201
Anexo 41.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o mês de agosto de 2002 em Patos	201
Anexo 42.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o mês de agosto de 2002 em Patos	201
Anexo 43.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o mês de setembro de 2002 em Patos	202
Anexo 44.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o mês de setembro de 2002 em Patos	202
Anexo 45.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o mês de setembro de 2002 em Patos	202
Anexo 46.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o mês de outubro de 2002 em Patos	202
Anexo 47.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o mês de outubro de 2002 em Patos	202

Anexo 48.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o mês de outubro de 2002 em Patos	202
Anexo 49.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o mês de novembro de 2002 em Patos	203
Anexo 50.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o mês de novembro de 2002 em Patos	203
Anexo 51.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o mês de novembro de 2002 em Patos	203
Anexo 52.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o mês de dezembro de 2002 em Patos	203
Anexo 53.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o mês de dezembro de 2002 em Patos	203
Anexo 54.	Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o mês de dezembro de 2002 em Patos	203

## 1 - INTRODUÇÃO

A água é hoje um tema em discussão no mundo inteiro, por ser um bem de extrema importância, não apenas para o desenvolvimento e bem estar da humanidade, mas sobretudo porque sua escassez pode afetar a sobrevivência de todos os seres vivos. O planejamento e o uso eficiente da água, exige o desenvolvimento de técnicas e instrumentos mais confiáveis e precisos para medição do consumo da água nas diferentes atividades humanas, bem como das perdas por evaporação, a qual, precisa necessariamente levar em conta as condições climáticas locais. Com isso, pode-se planejar melhor e otimizar o uso dos recursos hídricos.

Segundo OLIVEIRA (1971), as perdas de água por evaporação constituem uma fase importante do ciclo hidrológico, principalmente nas regiões áridas e semi-áridas, onde a evaporação representa, sobretudo, um fator primordial da economia, com conseqüências e importância incalculável sobre a produção agrícola. CHIN & ZHAO (1995) afirmam que, sendo a evaporação um dos principais componentes do ciclo hidrológico, sua estimativa precisa é fundamental para o gerenciamento eficiente dos recursos hídricos. Portanto, o conhecimento das perdas de água por evaporação de superfícies livres de água para a atmosfera, principalmente onde são altíssimas, como em regiões áridas e semi-áridas, além de representar uma valiosa contribuição para os diferentes campos do conhecimento científico, em especial, tem grande importância nas aplicações meteorológicas e hidrológicas. De acordo com VILLELA & MATTOS (1975), aos meteorologistas interessa o estudo do fenômeno, pois este condiciona a energética da atmosfera e altera as características das massas de ar nela existentes, enquanto para os hidrólogos essas informações são extremamente valiosas para melhorar a eficiência do gerenciamento dos recursos hídricos. Diante disto, estudos que envolvam medidas e/ou estimativas precisas da evaporação, representam uma

alternativa muito importante para um planejamento mais adequado do uso da água armazenada em reservatórios.

Apesar de grande parte do Nordeste Brasileiro, estar próxima do Oceano Atlântico e devido a atuação dos ventos alísios e a presença da Mata Atlântica, ter uma faixa de terra litorâneas, onde a atmosfera é relativamente mais úmida e conseqüentemente a evaporação não é elevada, também tem grande parte de seu território inserido no semi-árido, região caracterizada por alta incidência de radiação solar, baixa umidade relativa e elevadas temperaturas durante todo o ano, fatores que contribuem para proporcionar altíssimos índices de evaporação. Além disso, os diferentes sistemas meteorológicos que atuam na região semi-árida, também contribuem para uma distribuição muito irregular da precipitação pluvial, causando uma grande variabilidade espacial e temporal. Como conseqüência, enquanto no litoral da Paraíba, são registrados índices de precipitações médios de 1800 mm/ano, no interior do estado como no Cariri, os índices de precipitação são inferiores a 350 mm/ano (SUDENE, 1990).

Deste modo, estudos de perdas de água por evaporação assume considerável significado prático, visto que o conhecimento da taxa de transferência de vapor d'água para atmosfera, pode contribuir para um uso mais racional e eficiente da água, fornecendo subsídios que podem proporcionar um melhor planejamento operacional dos reservatórios, e com isso, uma racionalização ou até quando for o caso, uma priorização do uso da água para os diversos fins. Por conseguinte, dentro de um contexto global, pesquisas que visem caracterizar as perdas d'água para a atmosfera, interessam diretamente não apenas aos meteorologistas e hidrólogos, mas também a agrônomos, sociólogos, economistas, engenheiros, administradores, etc., já que podem beneficiar muitos setores da atividade humana e contribuir para um melhor planejamento do desenvolvimento sócio-econômico.

Em geral no Brasil as atividades de pesquisas e experimentação no campo específico da evaporação em lagos e reservatórios são escassas, não obstante a inegável carência de informações básicas para atender os mais diversos objetivos nas diferentes regiões climáticas do país. SILANS (1989) & CAMPOS (1989) mencionaram a importância de mais estudos na área, de maneira a ampliar a metodologia de cálculo da evaporação, possibilitando com isso, maior precisão na estimativa do fluxo evaporativo.

As estimativas de evaporação independentemente do regime climático da região, têm sido feitas utilizando-se os dados do tanque evaporimétrico classe A, instrumento

rotineiramente usado para medir evaporação, o qual muito provavelmente por ter sido desenvolvido nos Estados Unidos, logo teve ampla aceitação sem que houvesse maiores questionamentos. No entanto, este tanque de metal não representa a realidade das condições naturais do ambiente, conseqüentemente, pode não proporcionar medidas precisas e representativas da evaporação, particularmente, na região semi-árida, onde as condições climáticas são extremamente diferentes daquelas onde este foi desenvolvido e testado.

De acordo com a Organização Meteorológica Mundial - WMO (1966), o coeficiente de tanque usado para estimar evaporação em lago é afetado pelo regime climático e varia de tanque para tanque e de um ambiente árido para um ambiente úmido. Um método de avaliar estas variações climáticas, segundo a WMO (1966), é a condução de comparações de campo usando largos tanques, em vários locais, para detectar as diferenças geográficas no coeficiente anual que relaciona a evaporação tanque - lago.

BRUTSAERT & YEH (1970) comentam que o valor do coeficiente do tanque Classe A de 0,7 encontrado para o oeste dos Estados Unidos, pode variar para lagos específicos e diferentes estações do ano. Estes autores afirmam que é impossível prever a evaporação de lagos a partir da evaporação de tanques, sem que sejam feitas medidas de fatores físicos adicionais, sem as quais os dados do tanque são inviáveis.

MORTON (1983) comenta que coeficientes de tanque devem ser menores para lagos em regiões áridas do que em regiões úmidas. Contudo, com a infinita variedade de ambientes terrestres e o pouco conhecimento de como eles influenciam as observações, será sempre duvidoso o uso de coeficientes ou técnicas de um ambiente de lago para outro. SILVA (2000) após realizar uma pesquisa em Campina Grande-PB, concluiu que dependendo da época do ano, o tanque Classe A pode subestimar a evaporação em até 20%. Esta situação pode levar a erros no planejamento do uso da água, na operação de reservatórios e conseqüências incalculáveis para a população de muitas cidades e povoados.

Na região semi-árida, devido às condições climáticas adversas, a evaporação representa a maior perda nos reservatórios, sendo portanto, uma das variáveis meteorológicas mais importantes para o gerenciamento dos recursos hídricos. MOLLE & CADIER (1992) estudando o comportamento de vários açudes da região Nordeste do Brasil, evidenciaram que a contribuição da forma e tamanho do açude sobre o processo evaporativo, torna cada vez mais discutível a utilização do coeficiente de tanque,

metodologia tradicional ainda utilizada para o cálculo da evaporação. Portanto, o planejamento operacional de reservatórios e mananciais de água, deve ser feito com base em dados de evaporação confiáveis, o que na prática não tem acontecido, visto que as estimativas das perdas por evaporação nos açudes têm se baseado em medidas do tanque evaporimétrico Classe A, as quais, além do que já foi dito anteriormente, são obtidas apenas em pouquíssimos locais e muitas vezes usadas em outros, cujas condições climáticas são muito diferentes. Logo, pesquisas neste sentido mais regionalizadas, representam uma contribuição importante para melhorar o gerenciamento dos recursos hídricos, que poderão ser úteis para toda região semi-árida.

A presente pesquisa tem como objetivo geral contribuir para a melhoria da gestão dos recursos hídricos, estudando as perdas por evaporação nas microrregiões do Cariri e Sertão da Paraíba, levando em consideração as influências das condições climáticas locais sobre diferentes tipos de tanques evaporimétricos, e assim, determinar o mais adequado e viável processo de medida e os melhores métodos de estimativa da evaporação. Como objetivos específicos, pretende-se: a) estudar a performance e a viabilidade dos tanques tubulares de cimento, como forma de ampliar o processo de medida da evaporação, para possibilitar a obtenção de informação em mais locais, a custos bem menores; b) obter informações mais localizadas sobre o  $K_p$  do tanque Classe A, visando corrigir as séries de dados de evaporação existentes; c) avaliar individualmente os impactos sobre as taxas de evaporação locais, da temperatura do ar e da água de cada tanque, da umidade do ar, da radiação solar e do vento.

## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 – Parte descritiva

Estudos que possibilitem a obtenção de medidas ou estimativas precisas de evaporação, representam uma alternativa extremamente importante para o gerenciamento dos recursos hídricos, tanto a nível de atividade agrícola, como de armazenamento de água em reservatórios. Portanto, o conhecimento da taxa média de transferência de vapor d'água para a atmosfera, representa uma ferramenta muito valiosa para que se tenha um uso mais racional e eficiente da água, bem como, para quantificar melhor as lâminas d'água aplicadas em irrigação e sua frequência, entre outras aplicações.

Os primeiros estudos sobre evaporação foram efetuados por DALTON (1802) que apresentou uma aproximação empírica hidrodinâmica para o problema da evaporação. Em 1801, Dalton declarou que a evaporação é proporcional a diferença da pressão do vapor entre a superfície da água e o ar e que a velocidade do vento afeta esta proporcionalidade. Posteriormente, numerosos pesquisadores começaram a investigar a evaporação baseados na descrição de Dalton. Entre eles, STELLING (1882), FITZGERALD (1886), CARPENTER (1889), MEYER (1915), ROHWER (1931), PENMAN (1948), MARCIANO & HARBECK (1952).

A taxa de evaporação de uma superfície depende fundamentalmente da interação da área exposta desta superfície com a atmosfera. SLEIGHT (1917) estudando a evaporação de tanques enterrados, em Denver, no Colorado, verificou que a taxa de evaporação diminui exponencialmente com o aumento da área do tanque e que, mantendo uma área fixa com diâmetro de 61 cm e variando a profundidade do tanque de 8 a 175 cm, não houve diferenças significativas nas taxas de evaporação. No entanto, esse autor, comparando medidas de

tanques enterrados de 0,90 m de profundidade e diâmetro variando de 0,30 a 3,60 m, a medidas observadas em um lago de 720 ha de área, concluiu que a evaporação do tanque de 3,60 m de diâmetro, foi idêntica a registrada no citado lago. Com base nestas conclusões, Sleight conduziu novos estudos e estabeleceu o fator de multiplicação 0,70 para relacionar a evaporação que ocorre em um tanque de 1,20 m de diâmetro e 0,25 m de profundidade, instalado acima do solo (mais tarde denominado Classe A), com a evaporação de um tanque de 3,60 m de diâmetro. Esse autor também estabeleceu a constante de 0,78 para converter a evaporação medida em um tanque enterrado de 0,60 m de diâmetro e 0,90 m de profundidade, na de um tanque de 3,60 m de diâmetro.

A partir das pesquisas de Sleight, vários experimentos foram conduzidos. WHITE (1932) efetuando comparações de medidas obtidas durante dois anos em Milford, Utah, obteve para o tanque Classe A, o fator 0,67 para transformar a evaporação registrada na do tanque de 3,60 m. YOUNG (1947) comparando medidas do tanque Classe A com o tanque de referência de 3,60 m, em Fullerton e com o lago Elsinore, na Califórnia, encontrou para ambos um mesmo fator de conversão 0,77. Comparações idênticas foram efetuadas com o tanque de 0,60 m de diâmetro por 0,90 m de profundidade, introduzido por Sleight e modificado por Young, que colocou no mesmo, uma tela horizontal a meia altura entre a superfície d'água e a borda do tanque, encontrando um fator único de 0,98. Este tanque passou a ser identificado como "screened sunken pan".

De acordo com OLIVIER (1961) com base em experimentos deste tipo, alguns países adotaram o uso de tanques enterrados e protegidos com telas para obter a evaporação em uma superfície livre de água de grande extensão, sem recorrer a coeficientes de conversão. Com base na suposição de que eram comparáveis os tanques e as exposições dos poucos experimentos até então realizados, esse autor construiu com os dados disponíveis, um gráfico com o objetivo de mostrar a variação da evaporação com o diâmetro do tanque, cujas relações foram estabelecidas tomando como unidade um lago de 720 ha. A partir da curva obtida, Olivier verificou que para o tanque de 3,60 m de diâmetro, a relação foi da ordem de 1:1, e portanto, considerada suficientemente segura para os cálculos da evaporação em extensas superfícies de água. No entanto, Olivier sugeriu que novas comparações fossem feitas, principalmente utilizando-se diâmetros maiores que o considerado em seus estudos.

Conforme a WMO (1965, 1966), com o aumento do tamanho da superfície evaporante, a contribuição do aumento da evaporação na margem comparado à evaporação

total, torna-se pequena. Experimentos conduzidos em alguns países mostraram que o valor limite de evaporação é geralmente alcançado com um tanque de cerca de 15'(ft.) de diâmetro". A WMO (1965, 1996) recomendou, que em todos os países membros da organização, seja adotado como referência para estudos comparativos com evaporímetros, o uso de um tanque de 20m<sup>2</sup> de superfície (5m de diâmetro) e 2m de profundidade, a fim de fornecer as bases necessárias para a escolha de um evaporímetro universalmente aceito.

A WMO (1966) divulgou uma série de comparações entre tanques, realizadas em diversos países. Entre esses, trabalhos conduzidos no aeroporto de Lod, Israel, de junho de 1954 a maio de 1960, onde medidas de um tanque Classe A e de um reservatório de 3,60m de diâmetro por 1,00m de profundidade, indicaram um coeficiente de relação médio anual igual a 0,74. Por outro lado, em trabalho conduzido no observatório de Khartum, no Sudão, durante dois anos, as comparações entre os tanques Classe A e o de 3,60m de diâmetro, indicaram os coeficientes de 0,64 para o ano de 1960 e 0,65 para o ano de 1961.

As primeiras referências sobre comparações entre medidas de evaporímetros e o reservatório de referência de 20m<sup>2</sup> recomendado pela WMO, surgiram na União Soviética. Entre estas pesquisas destacam-se àquelas conduzidas na Estação Valday, Leningrado, nos períodos de 1949 – 1953 e 1958 – 1963, com os tanques Classe A, GGI – 3000 (tanque cilíndrico, enterrado, de fundo cônico, com 3000 cm<sup>2</sup> de área evaporante) e de 20m<sup>2</sup>, as quais indicaram um coeficiente de 0,77 entre os tanques de 20m<sup>2</sup> e o Classe A; e de 0,96 entre os tanques de 20m<sup>2</sup> e o GGI – 3000.

As comparações de medidas de tanques com fórmulas idealizadas para estimar a evaporação, são um tanto escassa na literatura. De acordo com a WMO (1966), comparações entre a equação de Penman e um tanque de 3,60m de diâmetro, no período de 1960 a 1961, no Observatório de Khartum, Sudão, indicaram um fator de 1,20 para a relação: tanque de 3,60m / Penman. VILLA NOVA (1967), comparando dados obtidos em tanque Classe A, na cidade de Piracicaba, a dados estimados pela equação de Penman, encontrou os seguintes fatores para converter a evaporação medida na calculada: período seco (julho a setembro) – 0,76; período úmido (outubro a junho) – 0,92; ano – 0,84.

Conforme GANGOPADHYAYA et al. (1966) e WMO (1966), o método mais comum para estimar a evaporação em lagos, consiste na aplicação de coeficientes de tanques relacionando a evaporação tanque – lago. De acordo com estes autores, os aspectos climáticos podem afetar o coeficiente do tanque Classe A. Portanto, o coeficiente 0,7 é utilizado no caso

em que as temperaturas do ar e da água do tanque são iguais, enquanto para climas quentes e áridos, quando a temperatura média da água é menor que a do ar, aplica-se o coeficiente 0,6. Para áreas úmidas, quando a temperatura da água do tanque é maior que a do ar, utiliza-se o coeficiente 0,8. Segundo MOLLE (1989), o coeficiente entre o tanque classe A e açudes com superfície superior a 20 ha, é aproximadamente 0,7; esse coeficiente aumenta para superfícies menores, e vale para os casos em que se pode desprezar as infiltrações. Quanto ao tamanho do lago, PEREIRA et al. (1997) definem como pequenos, aqueles cuja área é menor que 5 km<sup>2</sup>, grandes, aqueles cuja área é maior que 40 km<sup>2</sup> e médios, os que variam entre tais limites.

As técnicas convencionais para estimar evaporação de lago são baseadas na suposição de que a evaporação estimada a partir de tanques ou observações climatológicas em ambientes terrestres, pode representar aquela do lago pela aplicação de um simples coeficiente. A aparente carência de alternativas tem levado à práticas que ignoram o conjunto crescente de evidências de que essas técnicas são pouco realísticas. Tais evidências estão implícitas em HOUNAM (1973) que mostra os seguintes coeficientes anuais do tanque classe A: 0,81 para o Lago Okeechobee na Florida, onde a média anual de precipitação é de cerca de 1400mm; 0,70 para o Lago Hefner em Oklahoma, cuja média anual de precipitação é de aproximadamente 800mm; e 0,52 para o Mar Salton na California, onde a média anual de precipitação é de apenas cerca 60mm. Estas variações de certo modo minam as fundamentações das técnicas convencionais, devido os lagos criarem seus próprios ambientes, os quais diferem bastante de ambientes terrestres, na medida em que estes são mais áridos.

Por outro lado, MORTON (1979, 1983) comenta que há vários problemas associados com o uso de dados observados em ambientes terrestres na estimativa operacional da evaporação de lagos. O primeiro é que, mudanças sazonais no calor armazenado na sub-superfície não são refletidos diretamente em tanques de evaporação ou dados climatológicos, e que tais mudanças, são significativas na determinação de variações sazonais da evaporação de lagos profundos. No entanto, Morton relata que este problema não é tão importante, porque estimativas anual são adequadas para o planejamento e gerenciamento da água ou estudos de impactos ambientais. MORTON (1983) também alerta que o mais sério problema é que tanques e dados climatológicos são influenciados significativamente por mudanças na disponibilidade de água para evaporação da superfície de solo adjacente e são, portanto, não representativos de ambiente sobre lagos.

Em muitas aplicações da equação de Penman, o total diário de evaporação é estimado usando médias diárias de velocidade do vento, radiação líquida, déficit de umidade e temperatura, e negligenciando a influência da estabilidade atmosférica. Tais cálculos conterão erros devido a negligência das influências de estabilidade e devido a interação não linear (correlação) entre a variação diurna de variáveis que aparecem como produtos na relação de Penman. STRICKER & BRUTSAERT (1978) aplicaram uma técnica interativa para estimar o parâmetro de estabilidade e sua influência sobre o fluxo real de umidade da superfície calculado pelo método do balanço de energia da superfície, e concluíram que a influência da estabilidade atmosférica não pode ser negligenciada, embora tenham encontrado pequena diferença entre as várias formulações de estabilidade examinadas. BRUTSAERT (1982) sugeriu um procedimento interativo baseado na relação de Penman. De acordo com MAHRT & EK (1984) a maior desvantagem do uso da equação de Penman e muitos outros modelos de evaporação potencial, é a não inclusão da influência da estabilidade atmosférica sobre o transporte atmosférico de vapor d'água, visto que, tal influência pode contribuir significativamente na variação diurna da evaporação potencial. Os autores observaram também que no período da tarde, em dias de instabilidade moderada, a influência da instabilidade aumenta em cerca de 50% ou mais, o termo aerodinâmico da equação de Penman modificada.

KOHLER & PARMELE (1967) afirmam que, embora os métodos do balanço de energia e transferência de massa possam ser aplicadas a reservatórios para estimar a evaporação, os custos inerentes a instalação do instrumental restringem suas aplicações. MERO & SIMON (1975), ao efetuarem comparações entre alguns métodos de estimativa da evaporação, concluíram que o método de balanço de energia foi o que apresentou a melhor estimativa da evaporação em lago. GRANT (1975) comparando a evaporação obtida por diferentes métodos, verificou que o método do balanço de energia foi quase tão bom quanto o método da razão de Bowen, e tem a vantagem de não requerer medidas de umidade. Por outro lado, BRUTSAERT & YEH (1970) comparando fórmulas empíricas baseadas no método de transferência de massa para estimar evaporação em lagos e tanques, verificaram que embora essa teoria tenha limitações, representa uma ferramenta útil para o estudo da evaporação. Segundo ROSENBERRY et al. (1993) e WINTER et al. (1995), um dos melhores métodos para inferir evaporação em lagos é o do balanço de energia, o qual, é geralmente considerado como um método de referência. No entanto, VALLET-COULOMB et al. (2001) comentam

que uma grande limitação deste método, é a influência da advecção local. Contudo, quando a superfície do lago em estudo é grande, esta influência pode ser desprezível, já para pequenos lagos, localizados em ambientes áridos, os efeitos advectivos podem ser significativos.

BRUTSAERT & YEH (1970), afirma que devido os tanques fornecerem medições grosseiras, existe dificuldade em se definir os coeficientes de tanque de forma espacial e temporal, por isso, tais coeficientes são mais apropriados para medições anuais. OLIVEIRA (1971), tomando como padrão o tanque de 20m<sup>2</sup>, obteve para as condições de clima tropical em Piracicaba – SP, os seguintes coeficientes de tanque: Classe A – de 0,67 a 0,89, com média de 0,76; GGI – 3000 – de 0,88 a 1,04, com média de 0,95. Este autor concluiu que os tanques GGI – 3000 modificado e Classe A enterrado, apresentaram dados médios mensais de evaporação muito próximos dos obtidos com o reservatório de referência de 20 m<sup>2</sup>, os quais, dentre os tanques estudados foram os que forneceram resultados com a mais estreita correlação e maior concordância com o tanque padrão.

Segundo KHAN & ISSAC (1990), a evaporação de superfícies livres de água em regiões áridas, é o principal problema para o desenvolvimento local em termos do suprimento de água para consumo humano e animal. Uma tentativa para reduzir a evaporação principalmente em regiões áridas, onde a evaporação supera várias vezes a precipitação média anual, variando de 2615 a 3712 mm/ano, como ocorre em alguns locais da Índia (CAZRI, 1988 citado por KHAN & ISSAC, 1990), é o uso de materiais flutuantes para sombrear a água, reduzindo assim a energia solar incidente ou o transporte de vapor acima da superfície d'água. CROW (1967) & DREW (1972) afirmam que o sombreamento de superfícies de água reduz a evaporação na mesma proporção de área sombreada.

OLIVEIRA (1971) estudando os efeitos do uso de tela sobre tanques evaporimétricos em Piracicaba – SP, concluiu que o emprego de tela protetora acarretou uma redução na evaporação média anual de 5,6% para o tanque Classe A e de 7,0% para o tanque GGI – 3000. COOLEY & MYERS (1973) comentam que o uso de materiais flutuantes parece ser um método promissor para reduzir evaporação, através do aumento da reflectância da superfície da água, e assim, reduzir a energia disponível para evaporação. Os autores ao utilizarem diferentes materiais flutuantes, concluíram que àqueles de cor clara, reflete grande parte da radiação solar incidente, reduzindo significativamente as perdas por evaporação. A redução anual das perdas por evaporação foi de 23 a 87%. HANSON & RAUZI (1977) estudando a evaporação em tanque Classe A, em dois locais da grande planície, em Dakota do Sul,

observaram que os tanques protegidos por quebra ventos constituídos de árvores, apresentaram evaporação cerca de 14% menor que àqueles não protegidos. KHAN & ISSAC (1990) usando chapas de polietileno branca e outros materiais flutuantes, para sombrear uma superfície de água e reduzir a evaporação, durante um período de 19 meses, concluíram que sob o ponto de vista econômico e de performance, os melhores resultados foram obtidos com lâminas de polietileno de cor branca, as quais, produziram uma redução de 91% na demanda evaporativa. SOUSA et al. (1999) em experimento conduzido na Estação Meteorológica da UFPB, Campina Grande, PB, para estudar técnicas práticas de redução das taxas de evaporação potencial em tanque coberto com tela branca, observaram que a evaporação potencial apresentou redução de 25%.

SWEERS (1976) ao fazer uma vasta revisão sobre as equações empíricas usadas para estimar evaporação em lagos, verificou uma grande variabilidade dos resultados obtidos, particularmente antes de 1958 e concluiu que a função velocidade do vento de McMILLAN (1973), foi a que produziu os melhores resultados para as aplicações práticas em climas temperados. HARBECK (1962) propôs uma equação empírica para determinar a função velocidade do vento ( $f$ ) que depende da velocidade do vento e da área do lago. Posteriormente, HARBECK (1964) analisando dados de reservatórios de vários tamanhos, postulou que a função velocidade do vento é inversamente proporcional ao tamanho do lago, se a velocidade do vento for medida sobre a água no centro do lago. BRUTSAERT & YU (1968) também incluíram a área do lago em suas equações.

Muitas das equações empregadas para o cálculo da taxa de evaporação são empíricas, limitando-as a ser usadas apenas para locais e climas similares aqueles onde foram efetuadas as medidas. Embora, freqüentemente citada na literatura, algumas equações podem não apresentar exatidão quando aplicadas para condições diferentes daquelas onde foi desenvolvida. BRUIN (1978), depois de efetuar testes experimentais concluiu que o conceito da equação de PRIESTLEY & TAYLOR (1972) é basicamente empírico e que a equação tem sido testada principalmente no verão e apenas para latitudes elevadas (46-60°). De acordo com Bruin, o parâmetro  $\alpha = 1,26$  da equação de Priestley & Taylor certamente não é constante sobre uma base horária ou diária e deve ser tomado com cautela por causa da sensibilidade a variações. Isto foi confirmado por SENE et al. (1991). PARLANGE & KATUL (1992) verificaram que a formulação de Priestley-Taylor com  $\alpha = 1,26$  funciona

melhor sob condições atmosféricas não-estável, e que, sob condições estáveis, o valor de  $\alpha = 1,26$  subestima a estimativa da evaporação.

BRUIN (1978) ao combinar as aproximações de Priestley-Taylor e Penman para eliminar o termo  $(R_n + G)$ , obteve uma equação para estimar evaporação com base na temperatura do ar, déficit de saturação e velocidade do vento a 2m de altura, e concluiu que para períodos de 10 dias ou mais, o modelo apresentou resultados aceitáveis comparado a medidas do balanço de energia.

MORTON (1979) desenvolveu um modelo climatológico para produzir mapas de evaporação de lagos para várias áreas, usando observações mensais de temperatura, umidade e radiação solar. O autor afirma que o modelo forneceu estimativas razoavelmente precisas para lagos rasos sobre uma base mensal e para lagos profundos sobre uma base anual.

QUINN (1979) ao modificar a equação de transferência de massa baseando-se na camada limite e nas funções gradiente de velocidade de vento, temperatura potencial e comprimento de Monim-Obukhov para calcular a evaporação em grandes lagos e aplicar aos lagos Ontario e Hefner, verificou que a equação original subestimou os valores obtidos para o lago Ontario em aproximadamente 20%. Segundo ANDERSON (1954) e HARBECH & KENNON (1954), o uso do método do balanço de energia para estimar a evaporação do Lago Hefner apresentou uma precisão em torno de 5% para períodos de uma semana ou mais.

THOM et al. (1981) ao analisarem medidas diárias de evaporação efetuadas de quatro em quatro horas no tanque classe A e atmômetro de Piche, verificaram que o tanque classe A se aquece 31% a mais do que grama verde não irrigada, e ao compararem os resultados com os termos da equação de Penman, observaram que os dados do atmômetro de Piche são proporcionais ao segundo termo da equação e que a evaporação do tanque classe A é descrita por uma equação do tipo combinado, levando em consideração o efeito do vento e a constante psicrométrica. Segundo THOM et al. (1981) aproximadamente 8,5% da precipitação é perdida por respigo do tanque Classe A.

IDSO (1981) ao fazer uma avaliação de várias literaturas referentes a resultados de evaporação, concluiu que tanto os experimentos como as teorias, indicam evidências de que a existência de vegetação próximo a lagos e reservatórios, diminuem significativamente a perda d'água por evaporação, e que a retirada da vegetação, produz aumento na evaporação. De acordo com SHIH (1985), a evaporação da água de superfícies naturais representa aproximadamente 75% do total da chuva na bacia continental que retorna para a atmosfera.

MAXWELL (1965) estimou que  $113,6 \times 10^{10} \text{ m}^3$  de água retornam diariamente para a atmosfera pela evaporação no continente dos Estados Unidos.

MORTON (1983) comenta que a evaporação de um lago raso difere da evapotranspiração real de um ambiente úmido, devido as características da água na absorção da radiação e na transferência de vapor diferirem daquelas de superfícies de solo vegetada. Conforme o autor, embora a evaporação de lago seja igual a evaporação potencial em ambiente de lago, pode diferir significativamente da evaporação potencial em ambiente de terra. Pois, a radiação líquida sobre uma superfície de água, tende a ser maior do que sobre uma superfície de solo vegetada, porque os efeitos de um baixo albedo normalmente pesa mais que os efeitos de uma alta emissividade.

Segundo MORTON (1983), observações de velocidade do vento em ambientes terrestres são extremamente sensíveis a altura do instrumental, à rugosidade da superfície na direção do vento predominante e obstáculos próximos, portanto, essas observações não podem fornecer necessariamente uma boa estimativa da velocidade do vento sobre um lago. Deste modo, o uso de modelos de estimativa de evaporação para lago, apresentam objeção por não levar em consideração os efeitos da velocidade do vento sobre o lago. Sendo assim, os efeitos sobre a evaporação com o aumento da velocidade do vento, são parcialmente compensados pelos efeitos sobre a evaporação resultante da diminuição de temperatura na superfície. De acordo com SARTORI (2000) não há um consenso sobre qual altura é a melhor para a medida da velocidade do vento. No entanto, a altura mais comum encontrada na literatura é 2m. SWEERS (1976) verificou que a variação dos coeficientes é 5% entre a altura de 2m e 3m e 12% entre 3 e 8m.

A medida da evaporação em tanques, e em particular do Classe A, tem sido usada largamente para estimar a evaporação em lagos e a evapotranspiração (ET) de culturas. Admite-se, desse modo, que existe correlação positiva entre a evaporação d'água do tanque e àquela observada em lago ou superfície vegetada. No caso de superfície vegetada, alguns critérios e cuidados devem ser observados na exposição do tanque para que a medida no tanque represente, da melhor maneira possível, a perda d'água pela vegetação. ROSENBERG et al. (1983) alertam que cuidados devem ser tomados em relação a evaporação de tanques para estimar a ET real, especialmente em climas áridos, pois, algumas vezes, tanques podem apresentar menos evaporação do que a ET da vegetação. Um problema comum é que a taxa de evaporação de tanques difere consideravelmente de uma superfície de grama, dependendo das

características locais e das condições de tempo (JACOBS et al. 1998). Conforme FAO (1998), embora tanques respondam de maneira similar aos mesmos fatores climáticos que afetam a transpiração da cultura, vários fatores produzem diferenças significativas na perda d'água de uma superfície de água e de uma superfície coberta. Segundo os autores, a reflexão da radiação solar em um tanque raso pode apresentar diferença de 23% comparada a uma superfície de grama de referência, e por outro lado, o calor armazenado dentro do tanque pode ser apreciável e causar significativa evaporação durante a noite, enquanto muitas culturas transpiram apenas durante o período diurno.

A evaporação potencial é definida como àquela evaporação que ocorre sobre uma superfície livre de água. Segundo MAHRT & EK (1984), o fluxo de umidade da superfície é muitas vezes parametrizado em termos da evaporação potencial e associado coeficientes que representam o déficit de umidade do solo, a resistência da vegetação e propriedades radiativas da superfície. Segundo esses autores, na teoria, a evaporação potencial é independente do estado da superfície da água e depende apenas das condições atmosféricas, e na prática, o valor da evaporação potencial depende da metodologia de medida. Segundo BAILEY (1990) embora a avaliação da evaporação e evapotranspiração por medida direta usando tanques de evaporação e lisímetros, seja conceitualmente simples, na prática é muito difícil.

Segundo KNAPP et al. (1984) no planejamento operacional de lagos, estimativas corretas da evaporação semanal ou mensal são indispensáveis. A evaporação média anual em lagos, estimada a partir da evaporação medida em tanques, é geralmente aceito na prática, no entanto, séries temporal semanal ou mensal de evaporação em lagos, não pode ser obtida com exatidão a partir da evaporação em tanque, devido as incertezas na variabilidade dos coeficientes de tanque. Esses autores, ao estudarem a evaporação mensal no Lago Milford, em Kansas, verificaram que os menores valores de evaporação foram observados no inverno e primavera, enquanto os maiores ocorreram no outono e verão. Para período sazonal e anual, a evaporação parece ser mais sensível às mudanças de temperatura da água. Um aumento de 1°C na temperatura média anual da água, pode aumentar a evaporação anual em 15,6%. Também observaram que, em média, a evaporação total para o período junho a setembro, excedeu 50% da evaporação média anual.

SIMON & MERO (1985) avaliando a evaporação do lago Kinneret, em Israel, verificaram que cerca de um terço da água que entra no lago, perde-se por evaporação. Esses mesmos autores afirmam que como a medida da perda de evaporação real de superfícies de

lagos não pode ser efetuada diretamente, é importante usar simultaneamente várias aproximações, e se possível, independentes.

De acordo com SALHOTRA et al. (1985), tanques de evaporação fornecem um método comum para estimar evaporação de grandes corpos d'água que não são acessíveis a medida experimental direta, no entanto, devido a taxa de evaporação de tanques ser geralmente maior do que àquela de grandes corpos d'água, expostos as mesmas condições meteorológicas, esta técnica requer correção usando um coeficiente de tanque (KOHLER, 1954; NIMMO, 1964; BAILEY, 1990). Ainda segundo SALHOTRA et al. (1985), a taxa de evaporação de uma superfície de água é função das condições meteorológicas local, da temperatura e da salinidade da superfície d'água. A evaporação de água salina é menor do que de água doce porque os sais dissolvidos baixa a energia livre das moléculas d'água. Conforme SARTORI (1991) a salinidade tem um efeito menor sobre a taxa de evaporação, a redução é equivalente ao valor da concentração de sal. A baixa pressão de vapor sobre água salina permite que menos energia escape como calor latente, causando assim, um aumento na temperatura dentro do tanque e maior perda de calor sensível.

Segundo REICHARDT (1987) o vento transporta massa de ar de uma região para outra e assim, afeta a demanda atmosférica de água. Quando uma massa de ar úmido e frio é substituída por uma massa de ar seco e quente, novas quantidades de vapor podem ser absorvidas pelo ar e, como consequência, o processo de evaporação se intensifica. Por outro lado, a entrada de massa de ar úmido, pode reduzir sensivelmente a quantidade de água perdida por evaporação.

IKEBUCHI et al. (1988) estudando a evaporação no Lago Biwa no Japão, comparando medidas diretas obtidas pelos métodos da correlação turbulenta e de tanque, a estimativas obtidas pelos métodos aerodinâmico, balanço de calor e de transferência de massa, baseados em medidas de temperatura da água, velocidade do vento, temperatura e umidade do ar a 6 m acima da superfície do lago, concluíram que para longo período, o método mais eficiente foi o da transferência de massa, e que, a evaporação do lago Biwa é muito grande no período de setembro a março e muito pequena durante o resto do ano. Os autores sugerem que esta variação anual da evaporação pode ser característica da profundidade do lago. ROSENBERG et al. (1983), afirmam que os resultados encontrados para o Lago Ontario, baseados na equação de transferência de massa obtida para o Lago Hefner, pode sobrestimar a evaporação em cerca de 20%.

De acordo com MOLLE (1989) e MOLLE & CADIER (1992), as condições climáticas do semi-árido nordestino provocam taxas anuais de evaporação que alcançam três metros, o que repercute de maneira crucial sobre açudes de pequeno porte. A evaporação durante o período seco, junho/dezembro, representa aproximadamente dois terços da evaporação anual. Segundo MOLLE (1989), a evaporação do espelho de água de um açude apresenta duas diferenças fundamentais em relação ao tanque: a primeira diz respeito à profundidade média da represa ou ao volume armazenado – a massa de água represada apresenta uma inércia térmica que evita o aquecimento da água, próprio aos tanques, e o acréscimo de evaporação que daí decorre; a segunda, concerne ao tamanho da represa – a advecção será diminuída, pois, o ar ao se deslocar sobre o espelho d'água, aumenta gradativamente a sua umidade, diminuindo seu poder evaporativo. Deste modo, a evaporação média do espelho d'água tende, portanto, a ser menor do que para uma superfície reduzida. Para represas muito grandes, cria-se até um microclima caracterizado por ar mais úmido. Molle chamou esses dois efeitos de “efeito térmico e “efeito tamanho”.

CAMPOS (1989) comparando a eficiência hídrica de grandes e pequenos reservatórios da região Nordeste, comenta que devido a alta evaporação na região, é importante que se escolha, para a implantação de novos açudes, locais que maximizem a eficiência do armazenamento. A escolha adequada dos locais de açudes, pode significar um decréscimo substancial nas perdas globais por evaporação. BATISTA et al. (2000) afirmam que no dimensionamento de reservatórios, são encontrados diversos condicionantes, os quais, podem ser variáveis ou mesmo aleatórios, como as perdas de água por evaporação, infiltração, vazamentos e o regime de vazões afluentes.

Segundo MOLLE (1989), além dos fatores climáticos envolvidos no processo de evaporação, tais como: intensidade de radiação solar, umidade, temperatura do ar e vento, há também fatores secundários como a turbidez e a salinidade da água. Com relação a turbidez, sabe-se que o albedo da água passa de um valor de 0,05 para uma água limpa, a 0,10 ou 0,15 para uma água barrenta. Por outro lado, com relação a salinidade, conforme a WMO (1966), um acréscimo de 1% da massa salina diminui a evaporação em igual percentagem.

MOLLE (1989) tomando como base o método de Hargreaves e dados médios mensais de umidade do ar, velocidade do vento e do tanque classe A, obtidos em estações meteorológicas, estimou os coeficientes de passagem ( $K_p$ ) para onze estações do semi-árido nordestino: Patos, PB - (0,68); Sumé, PB - (0,70); Petrolina, PE - (0,70); Ouricuri, PE -

(0,70); Irece, BA – (0,68); Barbalha, CE – (0,70); Tauá, CE – (0,70); Cruzeta, RN – (0,71); Souza, PB – (0,70); Caicó, RN – (0,68); Florânia, RN – (0,69); Média – 0,69. É importante levar em consideração, que os coeficientes de tanque citados, não foram obtidos a partir da razão entre a evaporação real do açude ou de um tanque padrão e o tanque Classe A, como recomenda a OMM, e sim estimados. Este autor inclusive, sugere para açudes com superfície superior a 20 ha, um coeficiente de passagem entre o tanque classe A e tais açudes de 0,75, e afirma que, para superfícies menores esse coeficiente aumenta.

BARROS et al. (1984) estudando o papel da vegetação aquática na redução das taxas de evaporação em Alagoas, conduziu experimento em tanques de 2,0m de diâmetro e 1,10m de profundidade, e encontrou uma evaporação ligeiramente superior para o tanque com cobertura de plantas aquáticas. MOLLE (1989) afirma que o efeito da vegetação aquática é muito fraco, devido a evapotranspiração das plantas ser muito próxima da evaporação da água descoberta. Segundo Molle, a redução da evaporação depende do tipo de planta considerado, e em particular da sua resistência estomática e do seu albedo. SILANS (1989) estudando a diferença de evaporação entre um tanque normal e dois tanques cobertos com as variedades de plantas aquáticas *Jussiaea* e *Salvinia*, observou reduções de 6% e 15%, respectivamente. Ele sugere que o cálculo da redução real da evaporação deve levar em conta a temperatura do tanque. SILANS & EID (1991) estudando a potencialidade de algumas plantas aquáticas em reduzir a evaporação em açudes do nordeste brasileiro, concluíram que, teoricamente é possível estimar a atenuação da evaporação em açudes extensos, quando se leva em conta os efeitos da advecção sobre as características de estabilidade do escoamento.

Segundo ADAMS (1990), as perdas por evaporação dos corpos d'água resultam de dois processos: (1) convecção forçada devido ao movimento horizontal do ar sobre a superfície de água, e (2) convecção livre causada pela diferença de densidade entre o ar e a superfície d'água e o ambiente circunvizinho. No caso da convecção forçada, os fluxos verticais turbulento de momentum e vapor d'água são primariamente função da velocidade do vento. De acordo com o autor, o "fetch" parece ser um fator significativo que aumenta a convecção forçada da evaporação em pequenos lagos.

STANNARD & ROSENBERRY (1991) ao efetuarem medidas a curto prazo da evaporação em lago raso, usando os métodos da correlação turbulenta e do balanço de energia, verificaram que os fluxos de calor sensível e latente entre o lago e a atmosfera, bem como, a energia armazenada no lago, podem variar consideravelmente de um lado para o

outro do lago. Estimativas precisas da evaporação de lago através do balanço de energia são diretamente dependente da precisão das medidas da radiação líquida.

MOURA (1992) estudando a evaporação a partir do conceito de advecção localizada, comenta que além dos parâmetros de velocidade do vento, umidade relativa do ar próxima à superfície do solo e da temperatura do solo, a forma e o tamanho do açude interferem diretamente sobre o cálculo da evaporação. Dessa forma, a variação desses parâmetros está diretamente relacionada ao comprimento do açude na direção predominante do vento.

Em regiões áridas, a advecção pode, às vezes, superar a energia disponível; desta maneira, a evaporação passa a ser altamente dependente da natureza da área circunvizinha à área estudada (MOURA, 1992). MOURA & SILANS (1993) comentam que ao avaliar o comportamento térmico de pequenos açudes, como a maioria dos encontrados na região Nordeste do Brasil, pode-se perceber a influência do "fetch" sobre a evaporação. Estes autores concluíram que a área do espelho d'água pode ser vista como um fator relevante na avaliação da evaporação e que os pequenos açudes apresentam taxas elevadas de evaporação. Portanto, aumentar a eficiência do armazenamento d'água, implica em minimizar a evaporação. Deste modo, sugerem que para minimizar as perdas evaporativas, a disposição geográfica do reservatório deve ser escolhida, quando possível, de modo que o comprimento mais alongado do lago seja orientado na direção do vento predominante. De acordo com GIBSON (2002), os efeitos locais de um lago para outro, são pequenos durante períodos úmidos e mais pronunciados, durante períodos secos. Isto pode estar associado a influência da advecção, onde o calor sensível da superfície de solo, pode aumentar significativamente a evaporação em pequenos corpos d'água durante os anos secos.

FENNESSEY & KIRSHEN (1994) comparando estimativas de evaporação potencial de uma superfície livre de água, obtidas pelo método de Penman (1948), com medidas obtidas no tanque Classe A, em uma região úmida de New England, concluíram que as diferenças encontradas, foram devidas provavelmente as diferenças de albedo do tanque e do reservatório, entre outros fatores. BURMAN & POCHOP (1994) comparando o albedo de uma superfície de grama verde ao de uma superfície de água livre, observaram que enquanto o albedo de uma superfície de grama verde variou de 0,20 a 0,25, o albedo da superfície de água variou de 0,02 a próximo de 1,0, dependendo do ângulo de incidência da radiação solar e de outros fatores, como a profundidade. Entre os vários fatores que devem ser levados em conta na estimativa da evaporação de superfícies de água livre, destacam-se a extensão da

superfície e a profundidade da água, bem como as condições circunvizinhas. Profundidades maiores, conduz a um ciclo anual de temperatura da água menor que o da temperatura do ar. Como consequência, a taxa de evaporação de superfícies de água são usualmente maiores em regiões áridas do que em regiões úmidas, especialmente em locais com forte advecção.

WINTER et al. (1995) e YIN & NICHOLSON (1998) afirmam que numa base mensal, a estimativa da evaporação de lago através da equação de Penman, produz um erro de cerca de 10% em comparação com o balanço de energia ou método do balanço de água. MAHRT & EK (1984) verificaram que a relação de Penman usualmente subestima a perda de água com alta velocidade do vento e baixo aquecimento radiativo, e diminui esta subestimação ou mesmo sobrestima, quando há uma situação de baixa velocidade do vento e alto aquecimento radiativo da superfície. VALLET-COULOMB et al. (2001) comentam que a aplicação da equação de Penman, quando há condições de equilíbrio sobre a superfície do lago, ou seja, condições de mínima advecção, pode produzir uma sobrestimativa da evaporação.

Segundo a WMO (1996) medidas de evaporação de tanque são a base de algumas técnicas para estimar a evaporação e evapotranspiração de superfícies naturais. As medidas efetuadas em tanques de evaporação são vantajosas porque, em muitos casos, o resultado do impacto das variáveis meteorológicas, e os dados de tanque são disponíveis imediatamente para qualquer período. Contudo, embora os tanques instalados acima da superfície sejam econômicos e de fácil instalação e manutenção, a quantidade de água evaporada é maior do que nos tanques enterrados, principalmente por causa da energia radiante adicional absorvida pelas laterais. Os tanques enterrados tendem a reduzir os efeitos da radiação sobre as paredes do tanque, bem como, a troca de calor entre o tanque e a atmosfera. As desvantagens dos tanques enterrados é que, além dos custos, há dificuldade de limpeza, bem como, dificuldade de detectar vazamento no mesmo. Já os tanques flutuantes, segundo a WMO (1996) são influenciados pelo próprio lago, além dos respingos reproduzirem dados poucos confiáveis; os custos de instalação e operação, bem como, chuva e vento muito fortes pode invalidar as medidas. Portanto, necessariamente não são bons indicadores da evaporação de lagos.

De acordo com PEREIRA et al. (1997) a evaporação obtida em um tanque Classe A, exposto às condições de radiação solar e vento, em Piracicaba – SP, foi cerca de 50% maior do que a de um tanque enterrado, com 3,66 m de diâmetro ( $\phi$ ). Esses autores alertam que para estimar a evaporação de um lago, a evaporação de um tanque com diâmetro menor que 3,66

m deve ser corrigida por um fator conhecido como coeficiente de tanque ( $K_p$ ). Para as condições de Piracicaba – SP, encontraram os seguintes fatores de correção:  $\phi = 0,61 \text{ m} \rightarrow K_p = 0,77$ ;  $\phi = 1,03 \text{ m} \rightarrow K_p = 0,84$ ;  $\phi = 1,83 \text{ m} \rightarrow K_p = 0,90$ ;  $\phi = 2,74 \text{ m} \rightarrow 0,98$ . Para o tanque Classe A, o fator de correção foi igual a 0,66. O tanque GGI – 3000 apresentou maior coeficiente que o Classe A, portanto, a evaporação está mais próxima da evaporação de um lago. Isso ocorre devido o Classe A estar exposto às condições ambientais, pois o nível da água está sempre cerca de 0,35 m acima do nível do solo. Tal fato fica evidenciado quando se compara os diâmetros dos dois tanques, pois o GGI – 3000, com diâmetro de 0,61 m, deveria apresentar evaporação maior que o Classe A, com diâmetro de 1,21 m, mas pelo fato de estar enterrado, o GGI – 3000 representa melhor a evaporação do lago. De acordo ainda com PEREIRA et al. (1997), variações entre coeficientes de tanque podem ocorrer em função da demanda atmosférica (vento e umidade) em cada período, da localização dos tanques, e pela dificuldade de operação desses equipamentos em períodos chuvosos. A medida direta da evaporação exige a utilização de um reservatório (tanque) onde o nível da água possa ser medido com precisão. A utilização direta de dados obtidos em tanques de evaporação, como elemento de confiança, pode ser questionável, devido às dificuldades práticas, das quais há vários exemplos. Animais podem consumir e poluir a água contida em tanque aberto. Uma tela colocada sobre o tanque Classe A, por exemplo, impede o consumo de água por pequenos animais e evita a poluição da água do tanque com detritos. Todavia, a presença da tela de cobertura dificulta o manejo diário do tanque em condições de campo, embora proporcione medições de evaporação mais consistentes e seguras que resultam em valores mais próximos da evaporação real.

JACOBS et al. (1998) estudando o comportamento térmico de tanques Classe A, observaram que quando a temperatura da água excede consideravelmente a temperatura do ar, a taxa de evaporação do tanque aumenta rapidamente, resultando numa grande sobrestimativa da evaporação. Estes autores comparando também a evaporação do tanque Classe A aos resultados de um modelo de simulação uni-dimensional, verificaram que o modelo apresentou bom ajustamento com as evidências experimentais. Contudo, no modelo de simulação, correções devem ser feitas para turbulência gerada pelo próprio tanque e em particular por sua borda. No período noturno, devido a temperatura da água está mais aquecida que a temperatura do ar, o tanque continua a evaporar.

De acordo com a FAO (1998), a cor, o tamanho e a posição do tanque tem uma influência significativa sobre as medidas, assim, o coeficiente de tanque é específico de cada tanque. Portanto, na escolha do coeficiente apropriado de cada tanque, não apenas o tipo de tanque, mas também a cobertura do solo da estação, seus arredores, assim como as condições gerais de vento e umidade devem ser consideradas, pois, a localização do tanque e o meio ambiente influenciam nas medidas. A pintura dos tanques também pode influenciar na taxa de evaporação. Pequenas diferenças na evaporação do tanque, ocorrem quando as superfícies interna e externa do tanque são pintadas de branco. Por outro lado, aumentos acima de 10% pode ocorrer na evaporação do tanque quando estes são pintados de preto. O material utilizado para confeccionar os tanques também contribui com uma pequena porcentagem na variação da evaporação. Um outro ponto importante é o nível em que a água deve ser mantida, os erros pode ser superiores a 15% quando o nível da água no tanque Classe A cai 10cm abaixo do padrão, entre 5 e 7,0cm abaixo da borda. A utilização de telas sobre o tanque pode reduzir a evaporação em mais de 10%.

SARTORI (2000) ao fazer uma revisão crítica sobre as equações empregadas para o cálculo da taxa de evaporação de superfícies livres de água, concluiu que a evaporação de tanque pode gerar consideráveis diferenças em relação a evaporação de uma grande superfície de água, dependendo do comprimento da superfície e da taxa de transferência de massa. Da perda total de calor de uma superfície livre de água, mais do que 50% é devido unicamente a evaporação. Portanto, se uma equação sobrestima ou subestima severamente o valor real da evaporação, ela gera um erro de grande proporção. SARTORI (2000) também concluiu que as equações que não consideram a umidade relativa, prevê valores inexatos de evaporação para ar úmido, podendo a diferença ser bem maior para um estado saturado. Esse autor comenta ainda que as ondas geradas em grandes superfícies de água influenciam diminuindo a taxa de evaporação, contribuindo desta forma para que ocorram consideráveis diferenças entre tanques de evaporação e grandes superfícies de água. Esta diminuição também foi observada por EASTERBROOK (1968) e BRUTSAERT & YEH (1970).

SILVA (2000) comparando a temperatura da água de tanques de cimento amianto e Classe A, concluiu que o aquecimento da massa de água está diretamente relacionado com a profundidade da lâmina de água, e que para lâminas mais profundas, o equilíbrio térmico com a atmosfera durante a noite é mais lento. Com isso, há maior disponibilidade de energia para evaporação ao longo de 24 horas, em lâminas de água mais profundas.

ANDRADE & MATTOS (2000) estudando as perdas de água por evaporação na lagoa do Bonfim – RN, verificaram que as taxas médias diárias de evaporação foram da ordem de 6mm/dia, resultando para o período estudado, um total de evaporação maior que o total de precipitação, caracterizando dessa forma, um déficit hídrico atmosférico local. MATTOS & BATISTA (2000), ao realizarem um estudo de parâmetros operacionais para a lagoa do Bonfim/RN, verificaram que de toda contribuição do sistema para a lagoa, 78% procede das chuvas, e das perdas da lagoa para o sistema, 92% são por evaporação.

VALLET-COULOMB et al. (2001) analisando o comportamento dos reservatórios hidrológicos em resposta às mudanças climáticas e atividades humanas, utilizaram três aproximações climáticas para estimar a evaporação média anual do Lago Ziway na Etiópia, e concluíram que o balanço de energia no lago produziu uma taxa de evaporação de 1780 mm/ano, assumindo uma razão de Bowen de 0,15; o método de Penman deu uma taxa de evaporação anual de 1870 mm; e o modelo de evaporação de lagos que utiliza relações complementares aplicado sobre valores medidos mensalmente de temperatura do ar, umidade do ar e duração de brilho solar produziu 1730 mm/ano. Segundo estes autores, a taxa de evaporação de um lago não é limitada pela disponibilidade de água, mas sim pelo transporte de vapor da superfície para a atmosfera.

LEITÃO et al. (2001) afirmam que ao contrário dos tanques de cimento amianto, os quais são muito mais representativos das condições de superfícies naturais de água, o tanque Classe A, devido a sua pouca profundidade e constituição metálica, apesar de experimentar um aquecimento acentuado durante o período diurno de maior incidência de radiação solar, no restante do dia apresenta temperatura menor do que tanques de cimento amianto. Com base nos resultados obtidos, concluíram que na região semi-árida, as medidas diárias de evaporação obtidas a partir do tanque Classe A corrigido pelo fator 0,70, subestimam a evaporação de superfícies livres de água.

ARAÚJO et al. (2002), comparando a evaporação de tanques de cimento amianto e Classe A, concluíram que o tanque Classe A, no horário de maior incidência de radiação solar, de 09:00 às 15:00h, apresentou evaporação 1,02 mm/dia maior que os tanques de cimento amianto, enquanto no horário de 15:00 às 09:00h do dia seguinte, teve evaporação média de 0,98 mm/dia menor do que os tanques de cimento amianto.

BEZERRA et al. (2002), avaliando o aquecimento da água de tanques de cimento amianto e Classe A, observaram que no período do dia em que ocorreu as menores

temperaturas, o tanque Classe A apresentou resfriamento acentuado comparado aos tanques de cimento amianto. Devido ao maior armazenamento de energia durante o dia nas superfícies livres de água, como açudes, barragens e represas, durante o período noturno, estas superfícies permanecem aquecidas por mais tempo, comparadas ao tanque Classe A. Em função disto, alertam que o uso de dados de evaporação do tanque Classe A para estimar evaporação em lagos, deve ser feito de forma mais criteriosa, para evitar que dados de evaporação irreais, possam prejudicar o gerenciamento dos recursos hídricos.

De acordo com FINCH & GASH (2002) o gerenciamento dos recursos hídricos necessita de estimativas de evaporação de água livre. Pois, medidas sobre a água, de taxas de evaporação ou variáveis meteorológicas básicas, são raramente disponíveis e assim, geralmente são adotados procedimentos para estimar a evaporação usando simples modelos conduzidos por medidas meteorológicas feitas sobre superfícies de solo seco. Os autores comentam que, o balanço de energia de corpos d'água pode ser diferente daquele de outras superfícies porque, a radiação solar incidente é absorvida preferivelmente dentro da coluna d'água do que na superfície. Seus resultados indicam que em média, 88% da radiação líquida foi convertida em evaporação. Estes autores, afirmam ainda que na estimativa da evaporação de superfícies livres de água, o desafio é quantificar exatamente a mudança na energia armazenada no corpo d'água.

## **2.2 – Parte da fundamentação teórica**

A estimativa da evaporação da água em lagos e represas pode ser feita pela utilização de modelos fundamentados no balanço de energia, balanço de água, modelos aerodinâmicos, e combinados. São comuns formulações empíricas ou semi-empíricas, não só para determinar os diferentes coeficientes para os modelos teóricos, como também para obtenção indireta de determinados termos (parametrização) dos modelos evaporimétricos para lagos.

### Fórmula geral da evaporação

A troca de energia com o ambiente é característica de cada reservatório em função de sua geometria, topografia, uso do solo, e condições ambientais da vizinhança (BRUTSAERT, 1982). Portanto, embora existam modelos gerais, é comum alguns coeficientes serem determinados para diferentes condições de lagos.

Entre os diversos modelos semi-empíricos de transferência de massa, existem aqueles que ainda hoje são muito utilizados na prática de engenharia. A primeira equação para o cálculo da evaporação d'água de uma superfície líquida foi proposta por DALTON (1802):

$$E_L = C(e_o - e_a) \quad (2.2.1)$$

onde  $E_L$  é a evaporação do lago;  $e_o$  é a pressão parcial do vapor correspondente à temperatura da superfície da água;  $e_a$  é a pressão parcial do vapor d'água tomada a 2 m de altura; e  $C$  um coeficiente de ajuste que é função da velocidade do vento semelhante àquela utilizada por PENMAN (1948).

Várias equações foram propostas para a estimativa da evaporação, a maioria delas baseadas na equação de Dalton ou a própria, com o ajuste da função  $C$  para cada localidade. GANGOPADHYAYA et al. (1966) e HOUNAM (1973) apresentam um modelo de transferência de massa com base na equação de Dalton, bastante difundido na Rússia e outros países, no qual, os elementos climáticos são obtidos a 2 m acima da superfície da água do reservatório:

$$E_L = K(1 + 1,07 u_2)(e_o - e_a) \quad (2.2.2)$$

onde  $E_L$  é dado em  $\text{mm.d}^{-1}$ ;  $u_2$  é a velocidade do vento a 2 m de altura ( $\text{m.s}^{-1}$ );  $e_o$  é a pressão de vapor na superfície da água (mb);  $e_a$  é a pressão de vapor a 2 m (mb);  $K$  é um coeficiente empírico de ajuste ( $\text{mm.mb}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ), sendo igual a 0,13 para grandes reservatórios, 0,14 para reservatórios de tamanho médio, e 0,15 para pequenos reservatórios.

## Métodos do balanço de energia

O método do balanço de energia segundo a razão de BOWEN (1926) simplificado para estimar evaporação em lagos é dado pela seguinte expressão:

$$E_L = \frac{R_n}{(1 + \beta)L} \quad (2.2.3)$$

em que:  $R_n$  é a radiação líquida ( $\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ );  $L$  é o calor latente de evaporação ( $L=595 - 0,51t$  em  $\text{cal.g}^{-1}$ ); e

$$\beta = \frac{c_p P}{0,622L} \left( \frac{\Delta T}{\Delta e} \right) \quad (2.2.4)$$

onde:  $c_p$  é o calor específico do ar ( $c_p = 0,24 \text{ cal.g}^{-1}.\text{C}^{-1}$ );  $P$  é a pressão atmosférica (mb); e  $\Delta T$  e  $\Delta e$  são as diferenças de temperatura e pressão parcial do vapor d'água entre a superfície da água e 2m acima da superfície do solo.

$$\gamma = (c_p P) / 0,622L \quad (2.2.5)$$

é o parâmetro psicrométrico.

Quando dados de precipitação, temperatura, radiação e velocidade do vento são disponíveis, LINACRE (1993) propõe a seguinte equação para estimativa da evaporação da água em lagos:

$$E_L = (0,015 + 0,00042T + 10^{-6}z)[0,8R_s - 40 + 2,5F.u(T-T_d)] \quad (2.2.6)$$

onde  $E_L$  é a evaporação ( $\text{mm.d}^{-1}$ );  $T$  é a temperatura média diária do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) obtida pela média dos valores extremos diários;  $z$  é a altitude do local (m);  $R_s$  é a irradiância solar na superfície do lago ( $\text{W.m}^{-2}$ );  $F = 1,0 - 8,7 \times 10^{-5}z$  é o fator de correção devido a altitude do local;  $u$  é a

velocidade média do vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ) tomada a 2 m de altura da superfície;  $T_d$  é a temperatura do ponto de orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ ).

KOHLER & PARMELE (1967) introduziram algumas modificações na equação original de Penman tornando-a mais adequada para a estimativa da evaporação em lagos, segundo observações de campo. Eles apresentaram uma correção positiva para o coeficiente psicrométrico ( $\gamma$ ) a fim de compensar a igualdade considerada entre a temperatura do ar e a temperatura da água, na equação de Penman. Desse modo, a equação de Penman pode apresentar apreciável superestimativa da evaporação, sob condição de vento calmo e úmido e, conseqüentemente, subestimar a evaporação em condições de ar seco e ventos fortes. Dessa forma, a evaporação da água ajustada para o lago é dada pela expressão:

$$E_L = E + a[Q_i - Q_o - (S_2 - S_1)] \quad (2.2.7)$$

em que  $E_L$  é a evaporação real do lago;  $E$  é a evaporação a partir de uma superfície de água-livre considerando o saldo de advecção igual a zero (Eq. 2.2.8);  $a$  é a energia armazenada e/ou advectada (Eq. 2.2.9);  $Q_i$  é a quantidade de energia que entra na massa de água;  $Q_o$  é a quantidade de energia que sai da massa de água;  $S_1$  é a energia armazenada no início do período;  $S_2$  é a energia armazenada no final do período. Todas as variáveis são expressas em  $\text{mm.d}^{-1}$ .

$$E = \frac{s}{\gamma_L + s} R_n + \frac{\gamma_L}{\gamma_L + s} E_a \quad (2.2.8)$$

em que:  $E_a = (0,136 + 0,095 u_4)(e_s - e_2)$  é o poder evaporante do ar ( $\text{mm.d}^{-1}$ ),  $u_4$  é a velocidade do vento a 4m acima da superfície do solo ( $\text{m.s}^{-1}$ ),  $e_s$  é a pressão de saturação de vapor d'água a 2m de altura (hPa),  $e_2$  é a pressão parcial do vapor a 2m de altura (hPa);  $\gamma_L = [\gamma + 4\epsilon\sigma T_a^3/f(u)]$  é o parâmetro psicrométrico corrigido,  $f(u) = 1,361 + 0,01102 u_4$  é a função do vento, que representa o coeficiente de transporte de vapor d'água; e  $R_n = Q_{ir} - \epsilon\sigma$  (2.2.9) o de radiação, em equivalente lâmina de água evaporada ( $\text{mm.d}^{-1}$ ),  $Q_{ir}$  é a diferença entre radiação solar incidente e refletida ( $\text{mm.d}^{-1}$ ),  $T_a$  é a temperatura média do ar (K).

$$a = \frac{s}{s + \gamma + \frac{4\varepsilon\sigma T_a^3}{f(u)}} \quad (2.2.9)$$

em que:  $s$  é o coeficiente angular da curva ( $\text{mb}/^\circ\text{C}$ ) e  $\gamma$  é o parâmetro psicrométrico.

A Eq. (2.2.9) refere-se a dados obtidos sobre a água, mas é possível usar dados obtidos em terra sem o comprometimento de erro significativo.

KOHLER et al. (1955) adaptaram a equação de Penman para estimar a evaporação da água contida no tanque Classe A utilizando  $\gamma_p = 0,001578\text{P}$  ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) para o lago, ou a evaporação em superfície de água livre multiplicando o valor obtido no tanque Classe A por 0,7 e aplicando  $\gamma_l = 0,000661\text{P}$  ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ). Dessa forma,

$$E_L = 0,7 \left( \frac{sR_n}{s + \gamma_l} + \frac{\gamma_l E_a}{s + \gamma_l} \right) \quad (2.2.10)$$

em que  $E_a = E_p$ . Segundo EAGLESON (1970) e HJELMFELT & CASSIDY (1975), a evaporação no tanque Classe A ( $E_p$ ,  $\text{mm.d}^{-1}$ ) instalado em áreas onde não há grandes massas de água pode ser estimada, quando a atmosfera for estável, pela equação:

$$E_p = 7,518(0,37 + 0,00255u)(e_{1,5s} - e_{1,5})^{0,88} \quad (2.2.11)$$

em que  $u$  é a velocidade do vento a 0,152m acima do tanque ( $\text{km.d}^{-1}$ );  $e_{1,5s}$  é a pressão de saturação de vapor da água à temperatura do ar a 1,5m acima da superfície do solo ( $\text{kPa}$ ),  $e_{1,5}$  é a pressão parcial de vapor da água do ar a 1,5m acima do solo ( $\text{kPa}$ ).

STEWART & ROUSE (1976) modificaram a fórmula de Priestley-Taylor eliminando o fluxo de calor da subsuperfície e substituindo o saldo de radiação por uma relação linear da radiação solar incidente. O fluxo de calor na subsuperfície foi eliminado por considerar períodos de duas semanas a um mês e porque esse termo se aproxima de zero para estes períodos de tempo. A radiação solar pode ser medida ou estimada por relações empíricas. A expressão modificada é a seguinte:

$$E_L = 1,26 \left[ \frac{S}{S + \gamma} \right] (0,3774 + 0,7340 R_{se}) \quad (2.2.12)$$

ou

$$E_L = \left[ \frac{S}{S + \gamma} \right] (0,4755 + 0,9248 R_{se}) \quad (2.2.13)$$

em que  $E_L$  é a taxa de evaporação da água no lago raso ou reservatório, expressa em  $\text{mm.d}^{-1}$ ;  $s$  e  $\gamma$  conforme definidos anteriormente; e  $R_{se}$  é a radiação solar em equivalente lâmina de evaporação em  $\text{mm.d}^{-1}$ .

SIMON & MERO (1985) apresentaram a seguinte expressão para determinar a evaporação em lago:

$$E_L = \frac{Q - (S_2 - S_1)}{AR(1 + BR)L} \quad (2.2.14)$$

onde  $E_L$  é a evaporação do corpo d'água;  $Q$  é a radiação líquida;  $S_1$  é o calor armazenado no corpo d'água no início do período;  $S_2$  é o calor armazenado no corpo d'água no final do período;  $L$  é o calor latente de evaporação;  $BR$  é a razão de Bowen; e  $AR$  é a área da superfície do corpo d'água.

### Método do Tanque Classe A

O método do Tanque Classe A tem sido bastante usado para estimar a evaporação em lagos, contudo a evaporação medida no tanque Classe A ( $E_p$ ) deve ser corrigida por um coeficiente ( $K_p$ ), isto é:

$$E_L = K_p E_p \quad (2.2.15)$$

em que,  $K_p$  assume um valor fixo, igual a 0,66 que freqüentemente é arredondado para 0,7.  $K_p$  também pode ser estimado usando-se uma das diversas equações propostas, como por exemplo a de SNYDER (1992):

$$K_p = 0,482 + 0,024 \ln(F) - 0,000376 U + 0,0045 UR \quad (2.2.16)$$

onde: F é o tamanho da área de bordadura, em m<sup>2</sup>; U é a velocidade do vento, em Km/dia; UR é a umidade relativa média do dia, em %.

### Método de Penman

O primeiro tratamento físico adequado na tentativa de estimar a evaporação de superfícies naturais, foi feito por PENMAN (1948), que fundamentou-se nos efeitos da radiação líquida (Rn) e na energia advectiva, utilizando dados de evaporação obtidos em lagos e tanques de evaporação. Penman (1948) propôs a seguinte equação para estimativa da evaporação potencial:

$$E = (\Delta R_n + \gamma E_a) / (\Delta + \gamma) \quad (2.2.17)$$

em que: Rn é o saldo de radiação sobre a água livre, cal.dia<sup>-1</sup>; Δ é igual a s descrito anteriormente, ou seja, é o coeficiente angular da curva (mb/°C) dado pela Eq. 2.2.18, o qual foi mantido conforme simbologia original de cada equação; γ é o parâmetro psicrométrico (mb/°C), já definido anteriormente; E<sub>a</sub> é o poder evaporante da superfície.

$$\Delta = 33,3639 [ 0,05904 (0,00738 T_a + 0,08072)^7 - 3,42 \times 10^{-5} ] \quad (2.2.18)$$

em que T<sub>a</sub> é a temperatura do ar, em °C.

$$E_a = f(U)(e_s - e_a) \quad (2.2.19)$$

em que U é a velocidade do vento à 2m de altura, em km/dia; e<sub>s</sub> é a pressão de saturação (mb); e é a pressão parcial de vapor (mb).

Conforme DOORENBOS & PRUITT (1977) f(U) é expresso por:

$$f(U) = 0,27(1+U/100) \quad (2.2.20)$$

STIGTER (1983), examinando algumas equações para estimar  $f(U)$ , baseadas na aproximação de THOM & OLIVER (1977) concluiu que:

$$f(U) = 0,37(1+U/160) \quad (2.2.21)$$

### **Método de transferência de massa**

IKEBUCHI et al. (1988) propuseram uma equação para estimar a evaporação em lagos, baseada em medidas de temperatura da superfície d'água, velocidade do vento, temperatura e umidade do ar a 6m acima da superfície do lago:

$$E = C_B \rho (q_0 - q_2) u_2 \quad (2.2.22)$$

em que: E é a evaporação;  $C_B$  é o coeficiente de transferência de massa;  $q_0$  é a umidade específica correspondente a superfície da água;  $q_2$  é a umidade específica medida na altura  $z_2$ ;  $u_2$  é a velocidade do vento medida na altura  $z_2$ .

### **Método de determinação da evaporação a partir de informações colhidas no local**

MOLLE & CADIER (1992) propuseram o seguinte método para estimar a evaporação de açudes, a partir de valores de referência da evaporação do tanque Classe A ou da ETP, ambos fornecidos em tabelas.

#### Avaliação da evaporação do açude (EVA)

Seguem-se as seguintes etapas:

1. Escolhe-se uma estação próxima ao local estudado que disponha de dados mensais da evaporação do tanque Classe A. Se todas as estações apresentadas encontram-se distantes, escolhe-se entre elas uma em que as condições climáticas sejam semelhantes. Se esta aproximação for julgada precária, recorrer a tabela da ETP calculada por Hargreaves.
2. Calcula-se a soma (EVT) dos valores de evaporação correspondentes ao período para o qual se deseja avaliar o rebaixamento do açude. Se, por exemplo, o período considerado é o período 15 de outubro/31 dezembro, soma-se a metade do valor correspondente a

outubro aos valores de novembro e dezembro. Caso se prefira utilizar os dados de ETP de Hargreaves, procede-se da mesma maneira, multiplicando o resultado por 1,65.

3. Para conseguir a evaporação total do açude, (EVA), multiplica-se o valor da (EVT) pelo coeficiente  $C_1$  dado pela tabela seguinte em função do tamanho do espelho d'água e da situação do açude; açudes bem protegidos são açudes geralmente encaixados, situados em vales fechados e estritos, com exposição ao vento particularmente reduzida.

Situação	Coeficiente $C_1$				
	Superfície do espelho d'água (hectares)				
	0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 50	>50
Normal	.9	.85	.8	.75	.7
Bem protegido	.81	.77	.72	.68	.63

4. Outros fatores influentes: a vegetação aquática tem certa influência sobre a evaporação do açude. A variação induzida pela vegetação pode atingir até  $\pm 15\%$  da evaporação normal; as plantas que têm folhas planas e deitadas na superfície da água (nínfa,...) tendem a reduzir um pouco a evaporação porque não apresentam resistência ao vento; ao contrário, plantas altas e desenvolvidas, como a baronesa, aumentam a evaporação; em todos os casos, não se deve deixar plantas aquáticas invadirem a superfície do açude porque os efeitos negativos serão maiores do que o eventual pequeno ganho sobre a evaporação; a quantidade de material em suspensão (barro) na água também modifica a evaporação - uma água muito barrenta poderá ter uma evaporação reduzida em até 10%; a quantidade de sal influi igualmente: água salobre evapora menos.

Segundo MOLLE & CADIER (1992), para todos esses fatores, não é feita correção, salvo em casos em que se julgue que o efeito é particularmente relevante.

### **3 - MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 – Localização das áreas estudadas**

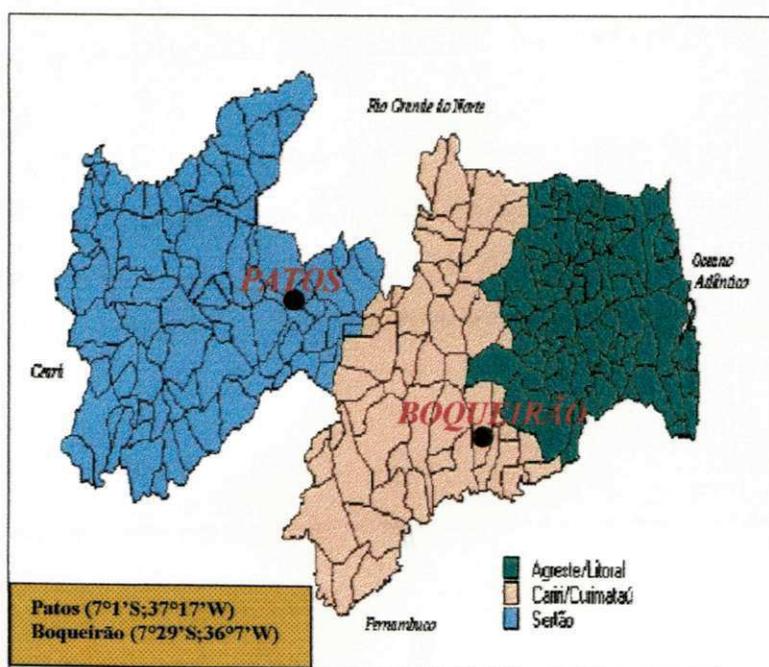
A pesquisa foi realizada no período de abril de 2002 a fevereiro de 2003, em duas áreas experimentais: uma na região do Cariri, na cidade de Boqueirão, PB (lat. 07° 29'S; long. 36° 07'W; alt. 380m – ver Quadro 3.1), situada próximo ao açude Epitácio Pessoa (Figura 3.1); e outra na região do Sertão, na cidade de Patos, PB (lat. 07° 01'S; long. 37° 17'W; alt. 250m – ver Quadro 3.1), localizada próximo ao açude Jatobá (Figura 3.2). As duas áreas experimentais estão separadas pelo Planalto da Borborema e distantes cerca de 140 km uma da outra.

#### **3.2 – Condições climáticas das cidades onde localizaram-se os experimentos**

Climatologicamente, de acordo com a classificação de Koeppen, a região de Boqueirão apresenta um clima seco tipo desértico, com estação chuvosa ocorrendo no período de março a junho, enquanto Patos apresenta um clima seco do tipo estepe, com período chuvoso indo de janeiro a abril. As médias mensais de temperatura, precipitação e evaporação de Boqueirão e Patos são apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Médias mensais de temperatura, precipitação e evaporação para Boqueirão e Patos. Fonte: LMRS-PB; DCA/UFPG.

Mês	Boqueirão			Patos		
	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)	Evaporação (mm)	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)	Evaporação (mm)
Jan	25,4	31,0	147,1	28,1	65,6	201,0
Fev	25,2	55,4	132,5	27,3	132,6	152,0
Mar	24,9	82,3	108,1	26,5	206,9	145,0
Abr	24,6	106,8	102,5	27,0	154,5	129,0
Mai	23,7	54,1	88,3	26,4	59,7	133,0
Jun	22,7	59,9	64,9	25,7	22,2	139,0
Jul	22,1	55,6	73,0	26,1	9,4	164,0
Ago	22,4	21,5	105,1	26,4	2,8	200,0
Set	23,3	13,1	126,1	27,3	0,8	221,0
Out	24,4	6,0	153,6	28,3	5,8	238,0
Nov	25,0	6,5	151,2	28,3	15,0	235,0
Dez	25,4	16,6	165,0	28,4	25,5	244,0
Média	24,1	-	-	27,2	-	-
Total	-	527,3	1417,4	-	715,3	2201,0



Quadro 3.1. Localização das cidades onde foram instaladas as áreas experimentais.

### **3 - MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 – Localização das áreas estudadas**

A pesquisa foi realizada no período de abril de 2002 a fevereiro de 2003, em duas áreas experimentais: uma na região do Cariri, na cidade de Boqueirão, PB (lat. 07° 29'S; long. 36° 07'W; alt. 380m – ver Quadro 3.1), situada próximo ao açude Epitácio Pessoa (Figura 3.1); e outra na região do Sertão, na cidade de Patos, PB (lat. 07° 01'S; long. 37° 17'W; alt. 250m – ver Quadro 3.1), localizada próximo ao açude Jatobá (Figura 3.2). As duas áreas experimentais estão separadas pelo Planalto da Borborema e distantes cerca de 140 km uma da outra.

#### **3.2 – Condições climáticas das cidades onde localizaram-se os experimentos**

Climatologicamente, de acordo com a classificação de Koeppen, a região de Boqueirão apresenta um clima seco tipo desértico, com estação chuvosa ocorrendo no período de março a junho, enquanto Patos apresenta um clima seco do tipo estepe, com período chuvoso indo de janeiro a abril. As médias mensais de temperatura, precipitação e evaporação de Boqueirão e Patos são apresentadas na Tabela 3.1.

### 3.3 – Medidas de evaporação e instrumental utilizado

#### 3.3.1 – Medições

Para determinação da evaporação foram instalados os seguintes equipamentos em cada área experimental: um tanque de 20m<sup>2</sup>, instrumento padrão recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para estimar evaporação em lagos; um tanque classe A, instrumento padrão recomendado pela OMM para medir evaporação em estações meteorológicas; um tanque de cimento tubular de 1,8m<sup>2</sup> x 1,0m de profundidade com capacidade para 1800 litros de água (T1,0m) e outro de 1,8m<sup>2</sup> x 0,5m de profundidade com capacidade para 900 litros (T0,5m). Os tanques de cimento foram utilizados nesta pesquisa por representarem uma condição bem mais real do ambiente, conforme mostrou Silva (2000), bem como, por representarem uma opção de baixo custo, o que pode permitir uma difusão mais ampla das medidas de evaporação, abrangendo muitos locais. Além disso, para se conhecer as condições climáticas e suas influências sobre as perdas por evaporação e obter-se suas estimativas por diferentes métodos, instalou-se nas duas áreas experimentais, sistemas automáticos de coleta de dados equipados com sensores que possibilitaram medir os seguintes parâmetros: temperatura da água dos tanques evaporimétricos, temperatura do ar, umidade relativa do ar, saldo de radiação, precipitação, velocidade e direção do vento. As áreas experimentais têm extensão de 216m<sup>2</sup> (12m x 18m), as quais foram gramadas e cercadas com telas de malha 2x2" com altura de 1,5m e menor com 2x2cm com 0,6m de altura, para impossibilitar a entrada de pequenos animais e a conseqüente influência da ação destes e de pessoas sobre os instrumentos e tanques evaporimétricos.

Para obter-se correlações entre a temperatura da água dos açudes Epitácio Pessoa e Jatobá e a temperatura da água dos tanques evaporimétricos, foram efetuadas em dois dias de cada mês a partir de julho, medidas da temperatura da água destes açudes utilizando-se sensores de temperatura acoplados a um sistema automático de coleta de dados.

#### 3.3.2 – Instrumental utilizado

Em cada área experimental foi instalado um sistema automático de coleta de dados (micrologger 21X), com o seguinte conjunto de sensores: um psicrômetro a base de termopar



Figura 3.1. Área experimental em Boqueirão.



Figura 3.2. Área experimental em Patos.

### **3.4 – Sistemática de observações**

#### **3.4.1 – Leituras convencionais**

Para ter-se conhecimento da evaporação diária e poder-se avaliar a performance de cada tanque, foram efetuadas diariamente às 09:00h observações nos tanques evaporimétricos, bem como, medidas linimétricas do nível da água dos açudes mencionados, leitura do pluviômetro e troca do pluviograma.

#### **3.4.2 – Leitura dos sensores elétricos**

Para coleta dos dados foram instalados sistemas automáticos de aquisição de dados, micrologger 21X, alimentados por energia ou painéis solares em eventuais necessidades, os quais, foram programados para efetuarem leituras a cada segundo e médias a cada 30 minutos, durante todo o dia. A cada 21 dias os dados armazenados nas memórias dos microloggers, foram coletados em módulos de armazenamento e transferidos para um microcomputador, para tratamento e processamento dos mesmos. Para coleta dos dados de temperatura da água dos açudes, foi utilizado um micrologger 21X, também programado para efetuar leituras a cada segundo e médias a cada 30 minutos, por um período de 48 horas.

### **3.5 – Procedimento de limpeza dos tanques evaporimétricos**

Para que a água dos tanques evaporimétricos permanecessem sempre limpa, a cada 21 dias efetuou-se limpeza nos tanques T1,0m; T0,5m e TCA, bem como, a cada três meses, no tanque padrão. Também procurou-se manter a grama sempre aparada durante todo o período experimental. Para agilizar o processo de limpeza dos tanques no menor tempo possível, contou-se com três bombas d'água.

### **3.6 - Características dos açudes estudados**

Açude Epitácio Pessoa – tem uma capacidade máxima de armazenamento de 450.421.000 m<sup>3</sup> e está situado no município de Boqueirão, na microrregião do Cariri, que se caracteriza climatologicamente por apresentar baixa precipitação pluviométrica (350 mm/ano) e baixa umidade do ar.

para medir temperatura do ar e de bulbo úmido; quatro termopares para medir a temperatura da água dos tanques evaporimétricos; dois anemômetros para medir a velocidade do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo; um anemoscópio para medir a direção do vento a 4m acima do solo; um radiômetro para medir a radiação solar incidente; um saldo radiômetro para medir a radiação líquida a 1m acima da superfície da água do tanque padrão de 20m<sup>2</sup>; e um telepluviômetro para medir a precipitação. Também, foram instalados em cada área experimental um pluviômetro e um pluviógrafo.

Para medir a temperatura da água nos açudes, utilizou-se termopar em uma vara de bambu com 7,5m de comprimento (Figura 3.3), o qual, mensalmente foi colocado no local mais profundo do açude para conhecer-se a temperatura a 8cm de profundidade, a qual, foi escolhida para evitar que as ondas produzidas na superfície d'água do açude não causassem efeitos sobre os sensores. Ou seja, a mesma profundidade das medidas de temperatura efetuadas nos tanques evaporimétricos, para que as medidas fossem tomadas a mesma profundidade da superfície.

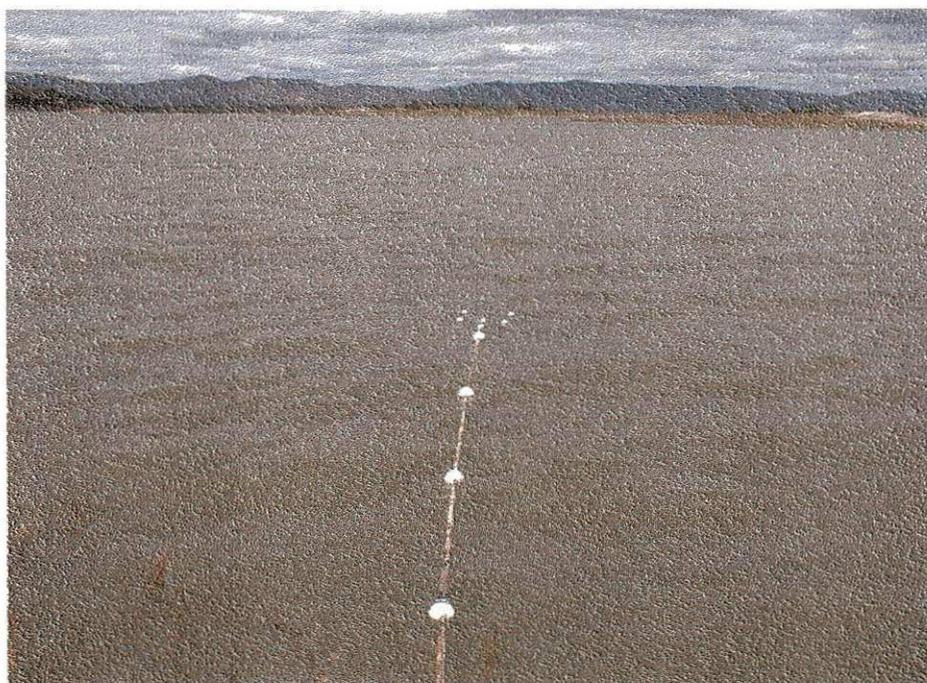


Figura 3.3. Instalação do sensor de temperatura no açude Jatobá, em Patos.

perdas nas laterais ou no fundo, os tanques padrão, T1,0m e T0,5m foram impermeabilizados com VEDAJÁ. Os tanques T1,0m e T0,5m a exemplo do tanque padrão, foram enterrados, com suas bordas a 7,5 cm acima da superfície do solo e seus interiores e partes exteriores expostas pintadas de branco.

Para padronizar o nível de operação, todos os tanques foram operados com seus níveis de água entre 5,0 e 7,0 cm abaixo da borda. Diariamente, a água era repostada afim de que ficassem sempre em torno do mesmo nível, e nunca ultrapassassem os limites citados.

### 3.8 - Métodos

Visando obter as melhores estimativas da evaporação para as duas regiões estudadas, foram analisadas as performances dos métodos que seguem:

1. O modelo de transferência de massa de GANGOPADHYAYA et al. (1966) e HOUNAM (1973) que se baseia na equação de Dalton:

$$E_L = K(1 + 1,07 u_2)(e_o - e_a) \quad (3.1)$$

em que,  $E_L$  é dado em  $\text{mm.d}^{-1}$ ;  $u_2$  é a velocidade do vento a 2 m de altura ( $\text{m.s}^{-1}$ );  $e_o$  é a pressão de vapor na superfície da água (mb);  $e_a$  é a pressão de vapor a 2 m (mb). O coeficiente empírico de ajuste  $K$  ( $\text{mm mb}^{-1}\text{d}^{-1}$ ),  $K$  será tomado como 0,13 para o reservatório Epitácio Pessoa e como 0,14 para o reservatório Jatobá.

2. A equação para estimar a evaporação da água em lagos de LINACRE (1993):

$$E_L = (0,015 + 0,00042T + 10^{-6}z)[0,8R_s - 40 + 2,5Fu(T-T_d)] \quad (3.2)$$

em que  $E_L$  é a evaporação ( $\text{mm.d}^{-1}$ );  $T$  é a temperatura média diária do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) obtida pela média dos valores extremos diários;  $z$  é a altitude do local (m);  $R_s$  é a irradiância solar na superfície do lago ( $\text{W.m}^{-2}$ );  $F = 1,0 - 8,7 \times 10^{-5}z$  é o fator de correção devido a altitude do local;  $u$  é a velocidade média do vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ) tomada a 2 m de altura da superfície;  $T_d$  é a temperatura do ponto de orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Açude Jatobá – tem uma capacidade máxima de armazenamento de 17.516.000 m<sup>3</sup>, está localizado no município de Patos no sertão das Espinharás, uma região caracterizada por apresentar baixa umidade do ar, alta incidência de radiação solar e elevada temperatura do ar, com índice anual de precipitação pluviométrica de cerca de 700 mm/ano. Está muito próximo do açude farinha (25.738.000 m<sup>3</sup>), portanto, ambos estão sob as mesmas influências climáticas.

### **3.7 - Descrição dos tanques evaporimétricos usados:**

#### **1. Tanque tipo Russo de 20 m<sup>2</sup> (padrão)**

Este tanque tem uma superfície de 20m<sup>2</sup> e um diâmetro de 5m, é cilíndrico com o fundo plano e 2m de profundidade, confeccionado em alvenaria e impermeabilizado para que não haja nenhuma perda d'água nas laterais ou no fundo. O mesmo foi enterrado, deixando-se uma borda de 7,5cm acima da superfície do solo; o interior e as superfícies exteriores expostas pintadas de branco e as medidas do nível da água, efetuadas com um micrômetro, num poço tranquilizador de tubo de PVC de 10cm de diâmetro fixado no fundo do tanque e próximo da parede lateral.

#### **2. Tanque Classe A (TCA)**

Foi instalado sobre um estrado de madeira a 15cm da superfície do solo, tem 25,4cm de profundidade e 120,7cm de diâmetro, e é constituído de chapa de ferro galvanizado. O nível da água foi medido em um poço tranquilizador de 25cm de altura e 10cm de diâmetro, com um parafuso micrométrico de gancho com capacidade para medir variações de 0,01mm. Na base do tranquilizador há um orifício, através do qual a água penetra, mantendo o mesmo nível de fora do poço.

#### **3. Tanques de cimento tubulares**

O tanque de 1800 litros, tem diâmetro de 1,5m e profundidade de 1m, o de 900 litros tem diâmetro 1,5m e profundidade 0,5m. Para estes tanques terem as mesmas condições de leitura que o tanque de 20m<sup>2</sup> e o tanque Classe A, foram equipados com poços tranquilizadores de tubo de PVC com diâmetro de 10 cm, e suas leituras efetuadas com o mesmo micrômetro utilizado nos tanques Classe A e padrão. Para que não houvessem

onde:  $c_p$  é o calor específico do ar ( $c_p = 0,24 \text{ cal.g}^{-1}.\text{C}^{-1}$ );  $P$  é a pressão atmosférica (mb); e  $\Delta T$  e  $\Delta e$  são as diferenças de temperatura e pressão parcial do vapor d'água entre a superfície da água e 2m acima da superfície do solo.

$$\gamma = (c_p P) / 0,622L \quad (3.8)$$

é o parâmetro psicrométrico.

6. Finalmente, o método de PENMAN (1948), recomendado pela FAO.

$$E_L = (\Delta R_n + \gamma E_a) / (\Delta + \gamma) \quad (3.9)$$

em que  $R_n$  é o saldo de radiação sobre a água livre,  $\text{cal.dia}^{-1}$ ;  $\Delta$  é o coeficiente angular da curva ( $\text{mb}/^\circ\text{C}$ );  $\gamma$  é o parâmetro psicrométrico ( $\text{mb}/^\circ\text{C}$ );  $E_a$  é o poder evaporante da superfície.

$$\Delta = 33,3639 [ 0,05904 (0,00738T_a + 0,08072)^7 - 3,42 \times 10^{-5} ] \quad (3.10)$$

em que  $T_a$  é a temperatura do ar, em  $^\circ\text{C}$ .

$$E_a = f(U)(e_s - e_a) \quad (3.11)$$

em que  $U$  é a velocidade do vento à 2m de altura, em  $\text{km}/\text{dia}$ ;  $e_s$  é a pressão de saturação (mb);  $e$  é a pressão parcial de vapor (mb). Conforme DOORENBOS & PRUITT (1977)  $f(U)$  é expresso por:

$$f(U) = 0,27(1+U/100) \quad (3.12)$$

### 3.9 - Análise dos dados

Para análise das medidas de evaporação diárias, efetuou-se regressões lineares entre o tanque padrão e os demais tanques para três períodos: período frio (P<sub>frio</sub>), período quente (P<sub>quente</sub>) e o período completo desse estudo (P<sub>total</sub> = abril a dezembro). Para Boqueirão, o P<sub>frio</sub> compreendeu o período abril a julho e o P<sub>quente</sub>, o período agosto a dezembro; para Patos, o P<sub>frio</sub> compreendeu o período abril a junho e o P<sub>quente</sub>, o período julho a dezembro.

3. A equação de Penman modificada por KOHLER et al. (1955):

$$E_L = 0,7 \left( \frac{sR_n}{s + \gamma_1} + \frac{\gamma_1 E_a}{s + \gamma_1} \right) \quad (3.3)$$

em que  $\gamma_1 = 0,000661P$  (kPa °C<sup>-1</sup>),  $E_a = (0,136 + 0,095 u_4)(e_s - e_2)$  é o poder evaporante do ar (mm.d<sup>-1</sup>),  $u_4$  é a velocidade do vento a 4 m acima da superfície do solo (m.s<sup>-1</sup>),  $e_s$  é a pressão de saturação de vapor d'água a 2 m de altura (hPa),  $e_2$  é a pressão parcial do vapor a 2 m de altura (hPa); e  $R_n$  é o saldo de radiação, em equivalente lâmina de água evaporada (mm.d<sup>-1</sup>).

4. O método do Tanque Classe A para estimar a evaporação em lagos:

$$E_L = K_p E_p \quad (3.4)$$

em que,  $K_p$  assume um valor fixo, igual a 0,66 que freqüentemente é arredondado para 0,7.  $K_p$  também pode ser estimado usando-se uma das diversas equações propostas, como por exemplo a de SNYDER (1992):

$$K_p = 0,482 + 0,024 \ln(F) - 0,000376 U + 0,0045 UR \quad (3.5)$$

onde:  $F$  é o tamanho da área de bordadura, em m;  $U$  é a velocidade do vento, em Km/dia;  $UR$  é a umidade relativa média do dia, em %.

5. O método do balanço de energia segundo a razão de BOWEN (1926) simplificado para estimar evaporação em lagos:

$$E_L = \frac{R_n}{(1 + \beta)L} \quad (3.6)$$

em que:  $R_n$  é a radiação líquida (cal/cm<sup>2</sup>/min);  $L$  é o calor latente de evaporação ( $L=595 - 0,51t$  em cal/g); e

$$\beta = \frac{c_p P}{0,622L} \left( \frac{\Delta T}{\Delta e} \right) \quad (3.7)$$

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 – Análise da evaporação mensal

A seguir é mostrado para o período abril de 2002 a fevereiro de 2003, nas duas áreas experimentais, a evaporação diária observada nos tanques evaporimétricos e o comportamento de alguns parâmetros que afetam diretamente a taxa de evaporação: temperatura e umidade relativa do ar, temperatura da água dos tanques evaporimétricos, fluxos de radiação solar, velocidade do vento e precipitação. As médias dos parâmetros climáticos diárias e totais no caso da precipitação, foram calculadas para o intervalo de 09:00h de um dia, às 09:00h do dia seguinte, para coincidir com o mesmo período das medidas dos tanques evaporimétricos. Deste modo, com as medidas de evaporação obtidas diariamente nos tanques evaporimétricos e os parâmetros climáticos observados nas duas áreas experimentais, foi possível elaborar figuras e tabelas, que mostram a evolução da evaporação (mm/dia) para cada tanque evaporimétrico e dos parâmetros climáticos ao longo do período estudado.

#### 4.1.1. – Evaporação abril - 2002

Na Figura 4.1 é apresentada a evolução da evaporação nos quatro tanques evaporimétricos: tanque de 20m<sup>2</sup> (padrão), tanque de 1,0m de profundidade (T1,0m), tanque de 0,5m de profundidade (T0,5m) e tanque Classe A (TCA), durante o mês de abril de 2002 em Boqueirão. Observa-se que durante o mês de abril, os índices de evaporação do tanque Classe A superaram os demais tanques e que, os menores valores de evaporação ocorreram, quando houve diminuição da temperatura do ar (Figura 4.2), aumento da umidade relativa do ar (Figura 4.5) e diminuição da radiação solar incidente (Figura 4.6). A influência da

Deste modo, a performance dos tanques evaporimétricos usados (T1,0m, T0,5m e Classe A) foi avaliada através do coeficiente de tanque ( $K_p$ ), do desvio e do erro relativo de cada tanque em relação ao padrão, bem como, do erro padrão de estimativa e do coeficiente de determinação para os períodos mencionados. Também, para obter-se equações que possibilitem determinações dos coeficientes de tanque ( $K_p$ ), foram efetuadas regressões lineares múltiplas entre os coeficientes de tanques e os parâmetros climáticos: temperatura, velocidade do vento e umidade do ar.

### 3.10 - Estimativa da temperatura mensal dos açudes Epitácio Pessoa e Jatobá

A estimativa da temperatura mensal da água dos açudes Epitácio Pessoa em Boqueirão, e Jatobá em Patos, foi obtida a partir de equações resultante das regressões lineares baseadas nas medidas de temperatura da água dos respectivos açudes e as medidas obtidas nos tanques evaporimétricos padrão, T1,0m e T0,5m, TCA, bem como, a temperatura do ar.

### 3.11 – Análise Estatística dos dados de evaporação

Finalmente, efetuou-se uma análise estatística dos dados de evaporação utilizando o teste de Dunnett ( $d'$ ), o qual é geralmente usado em análise de variância quando se deseja comparar médias de tratamentos diferentes com uma testemunha, desde que o teste F seja significativo e tenha-se mais de dois tratamentos. Sua aplicação é muito simples, por ter apenas um valor de  $d'$  para comparar com todos os contrastes. O mesmo tem a seguinte fórmula:

$$d'(5\%) = t(5\%) [s(Y)]^{1/2}$$

$$d'(5\%) = t(5\%) [2.s^2/r]^{1/2}$$

onde  $t(5\%)$  é o valor tabelado do teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade;  $s^2$  é a estimativa da variância do erro experimental, que corresponde ao quadrado médio do resíduo; e  $r$  é o número de repetições do experimento e/ou da média.

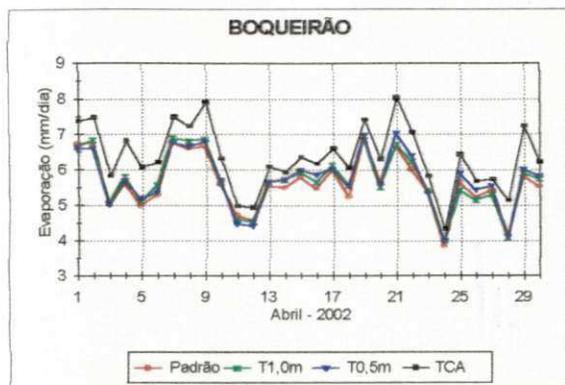


Figura 4.1. Evolução da evaporação diária durante abril de 2002, em Boqueirão.

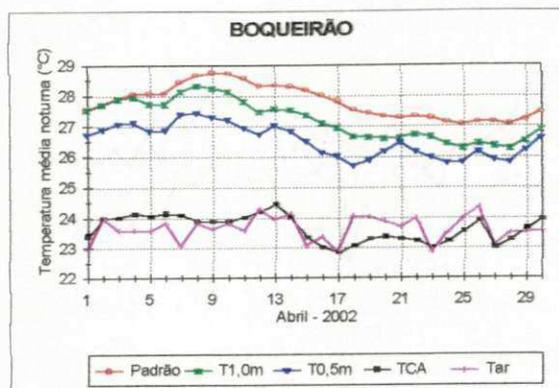


Figura 4.4. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante abril de 2002, em Boqueirão.

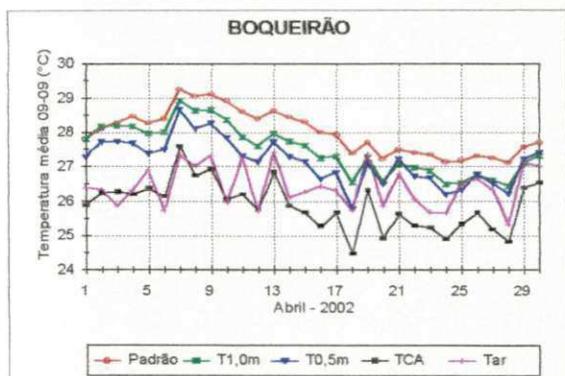


Figura 4.2. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, durante abril de 2002, em Boqueirão.

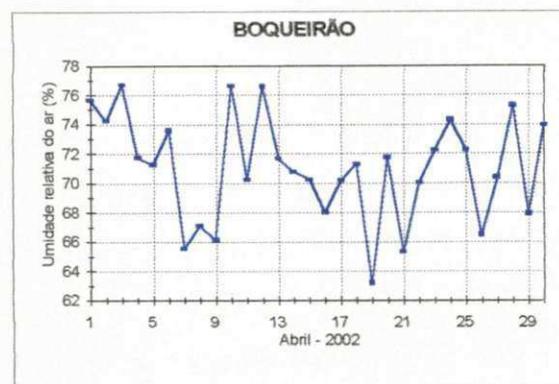


Figura 4.5. Evolução da umidade relativa do ar média diária durante abril de 2002, em Boqueirão.

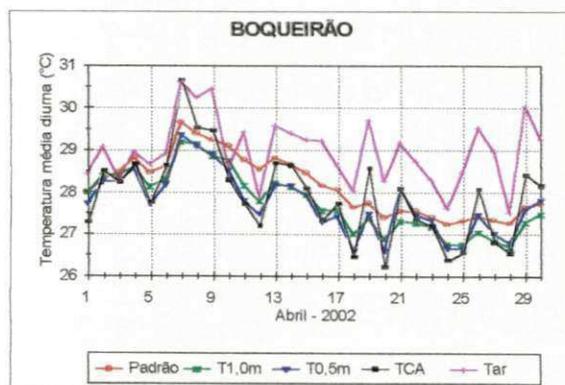


Figura 4.3. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, durante abril de 2002, em Boqueirão.

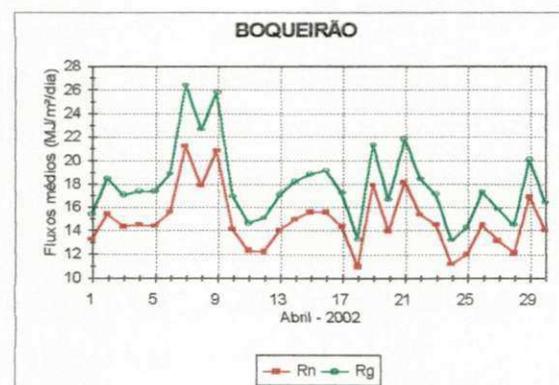


Figura 4.6. Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante abril de 2002, em Boqueirão.

temperatura no processo evaporativo pode ser melhor visualizada, quando considera-se o período diurno. Observa-se na Figura 4.3, que ao longo do mês de abril, praticamente em todos os dias, a temperatura do ar foi durante o período diurno, superior a dos tanques evaporimétricos. No entanto, analisando-se a temperatura média para o período noturno apresentada na Figura 4.4, percebe-se que a temperatura da água do tanque Classe A, se comportou semelhante a temperatura do ar, porém ambas, foram bem menores do que a temperatura dos tanques padrão, T1,0m e T0,5m, que ao longo do mês, apresentaram temperaturas médias noturnas superiores ao ar em 4,1, 3,5 e 2,8°C, respectivamente, enquanto o tanque Classe A, teve temperatura média noturna 0,1°C menor que o ar. Por outro lado, quando faz-se a média diária, como indica a Figura 4.2, as diferenças entre os três tanques e o Classe A passam a ser apenas de 2,1, 1,6 e 1,3°C, respectivamente. Ou seja, a média mascara o comportamento noturno da temperatura da água do tanque Classe A, suavizando a diferença em relação aos demais tanques. Na Figura 4.7 é mostrado o comportamento da velocidade média do vento nos níveis de 2 e 4m acima da superfície do solo, para o mês de abril. Analisando as Figuras 4.1, 4.3, 4.5, 4.6 e 4.7, simultaneamente, nota-se que, nos dias em que houve maior evaporação no TCA, dias 9 e 21, a temperatura do ar foi alta, a umidade do ar foi muito baixa e a incidência de radiação solar e a velocidade do vento foram elevadas, o que certamente, causou um efeito maior na evaporação do TCA, do que nos demais tanques. Isto sugere, que os efeitos das condições climáticas são maiores em tanques expostos do que em tanques enterrados. O comportamento da precipitação durante o mês de abril mostrado na Figura 4.8, indica que houve pequenas precipitações ( $\leq 1,0$  mm/dia) em apenas seis dias ao longo do mês, o que concorreu para o ar continuar com déficit razoável de umidade, contribuindo ao lado dos outros parâmetros para uma evaporação acentuada neste mês (169,6 mm/mês), considerado chuvoso. Na Tabela 4.1 são apresentadas as médias diárias de evaporação de todos os tanques evaporimétricos para cada mês, nas duas áreas experimentais. No mês de abril em Boqueirão, a evaporação do TCA foi maior 12,9% do que àquela observada no tanque padrão.

tanques, teve um resfriamento acentuado. Observa-se na Figura 4.15, que a velocidade do vento no período de 1 a 17, e de 25 a 30, foi relativamente baixa, porém, entre os dias 18 e 24, contribuiu juntamente com a baixa umidade do ar, e a maior incidência de radiação, para aumentar a evaporação neste período. Em termos de índice médio diário de evaporação, no mês de abril em Patos, tomando como base a Tabela 4.1, verifica-se que o TCA apresentou um índice médio de 8,6% superior ao tanque padrão.

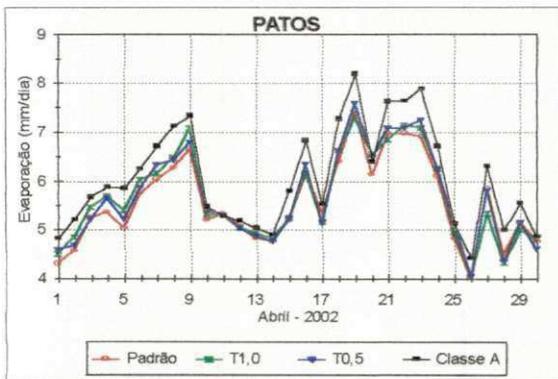


Figura 4.9. Evolução da evaporação diária durante abril de 2002, em Patos.

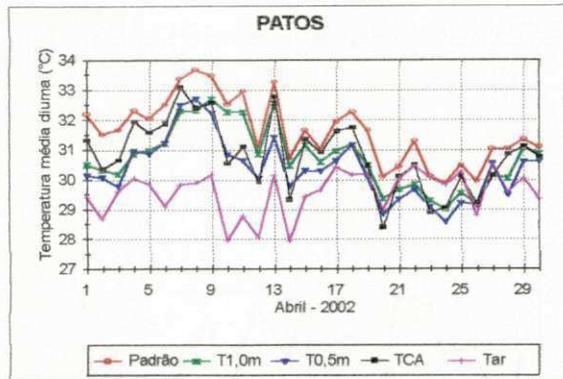


Figura 4.11. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, durante abril de 2002, em Patos.

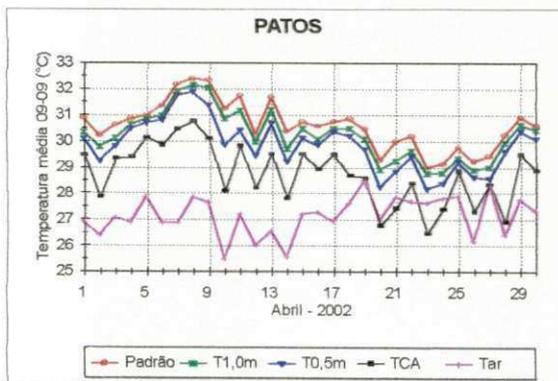


Figura 4.10. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, durante abril de 2002, em Patos.

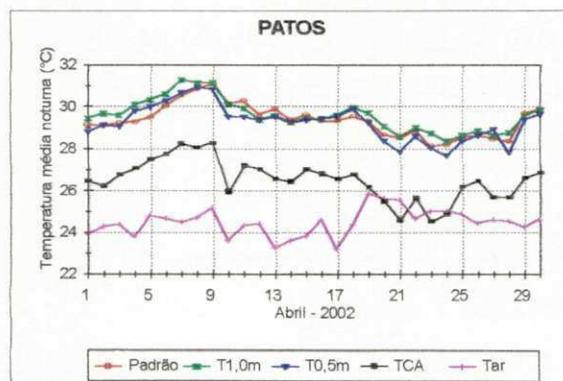


Figura 4.12. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante abril de 2002, em Patos.

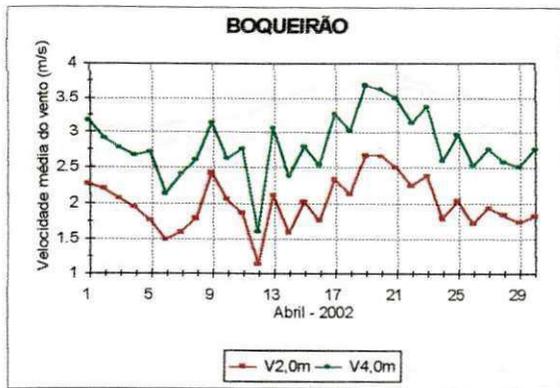


Figura 4.7. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante abril de 2002, em Boqueirão.

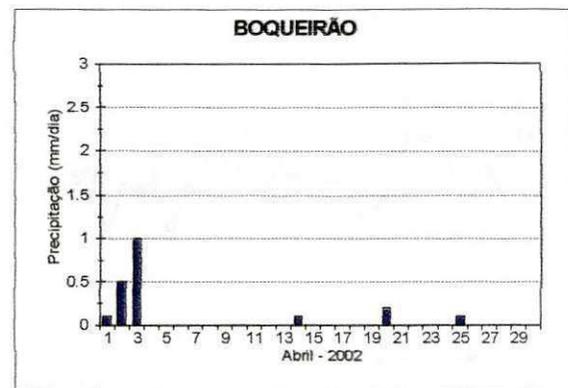


Figura 4.8. Precipitação observada durante abril de 2002, em Boqueirão.

A evolução da evaporação dos tanques evaporimétricos em Patos, durante o mês de abril de 2002 é apresentada na Figura 4.9. Nota-se que ao longo do mês, houve redução da evaporação, em função das condições climáticas, ou seja, diminuição da temperatura do ar (Figura 4.10), aumento da umidade relativa do ar (Figura 4.13) e diminuição da radiação solar incidente (Figura 4.14). Observa-se na Figura 4.10 que, em função da ocorrência de precipitação em dez dos dezoito primeiros dias do mês (Figura 4.16), a temperatura média diária do ar neste período foi bem menor do que a dos tanques evaporimétricos, em média, 4,2, 3,9, 3,5 e 2,4°C, em relação aos tanques padrão, T1,0m, T0,5m e TCA, respectivamente. Observa-se ainda na Figura 4.10, que a diferença entre a temperatura média diária da água do tanque Classe A e dos demais tanques, foi pequena ao longo do mês. Esta diferença pequena, está associada ao menor aquecimento do tanque Classe A, em função da ocorrência de precipitação que totalizou 75,2 mm no decorrer do mês. Desta forma, a evolução da temperatura média diurna (Figura 4.11) tem comportamento semelhante a evolução da temperatura média diária. No entanto, quando considera-se o período noturno (Figura 4.12), nota-se que ao longo do mês, a temperatura do ar foi inferior a temperatura dos tanques padrão, T1,0m, T0,5m e TCA, cerca de 4,9, 5,1, 4,8 e 2,0°C, respectivamente. Ou seja, no período noturno enquanto os tanques enterrados tiveram suas temperaturas bem próximas e elevadas, dando condições de continuidade ao processo evaporativo, o tanque Classe A, apesar de ter tido temperatura média noturna superior 2°C ao ar, em relação aos demais

transferência de vapor d'água para a atmosfera, reduzindo e igualando praticamente os índices de evaporação de todos os tanques. Analisando ainda a Figura 4.17, nota-se que os maiores valores de evaporação observados nos dias 4, 8 e 12, estão associados ao aumento da temperatura do ar (Figura 4.18), que pode ser melhor visualizado em termos da temperatura média diurna (Figura 4.19); diminuição da umidade do ar; aumento da radiação solar (Figura 4.22); e da velocidade do vento (Figura 4.23). No caso particular do dia 12, observando a Figura 4.23, nota-se que a atuação do vento não foi tão intensa como nos outros dias. Já analisando a Figura 4.19, verifica-se que no dia 13, embora não tenha ocorrido chuva, houve nesse dia uma redução da temperatura do ar e dos tanques, principalmente do tanque Classe A. Ou seja, essa redução acentuada da temperatura da água do tanque Classe A, certamente está associada, a baixa incidência de radiação solar e a atuação do vento retirando calor das paredes desse tanque neste dia. Observa-se na Figura 4.20, que a exemplo do mês anterior, no período noturno, os tanques enterrados estiveram bem mais aquecidos do que o tanque Classe A e o ar, em média, durante o mês de maio, a temperatura do ar foi menor 5,0, 4,1, 3,7 e 0,9°C em relação aos tanques padrão, T1,0m, T0,5m e TCA, respectivamente. De acordo com a Tabela 4.1, o TCA teve um índice médio de evaporação de 7,3% maior do que o tanque padrão.

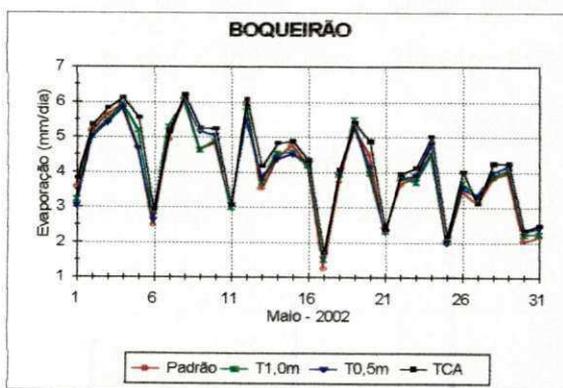


Figura 4.17. Evolução da evaporação diária durante maio de 2002, em Boqueirão.

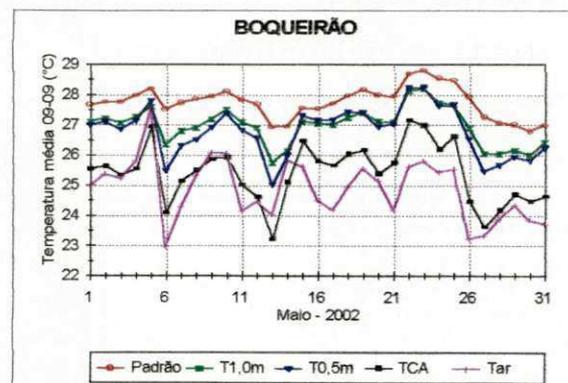


Figura 4.18. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar durante maio de 2002, em Boqueirão.

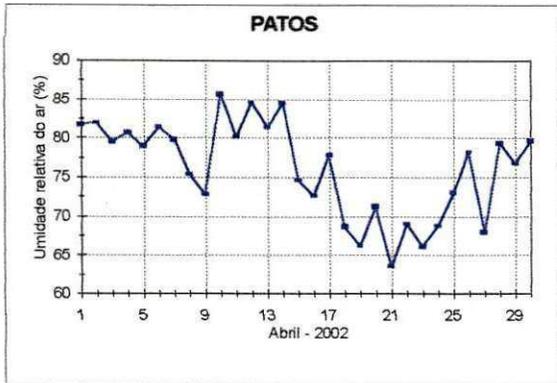


Figura 4.13. Evolução da umidade relativa do ar média diária durante abril de 2002, em Patos.

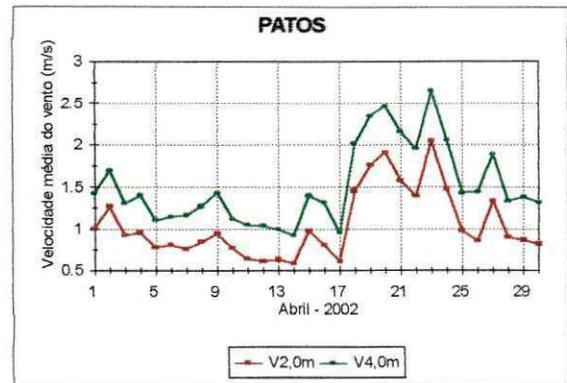


Figura 4.15. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante abril de 2002, em Patos.

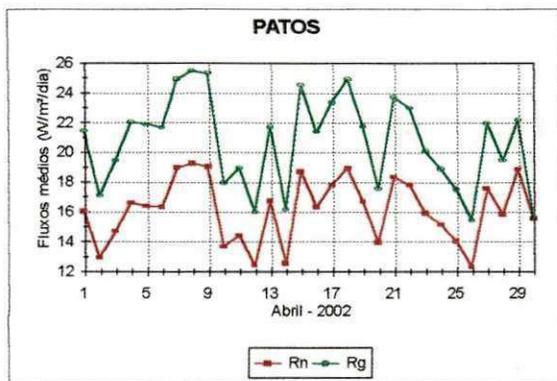


Figura 4.14. Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante abril de 2002, em Patos.

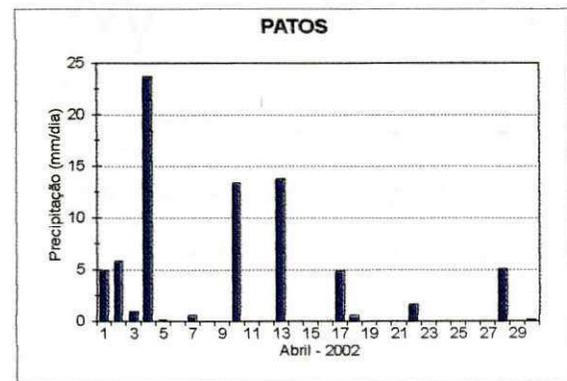


Figura 4.16. Precipitação observada durante abril de 2002, em Patos.

#### 4.1.2 – Evaporação maio - 2002

A evaporação no mês de maio dos tanques evaporimétricos em Boqueirão é apresentada na Figura 4.17. Observa-se que durante todo o mês, a diferença de evaporação entre os tanques foi muito pequena, isto provavelmente ocorreu, devido este mês ter sido bastante chuvoso, ou seja, choveu em quatorze dias (Figura 4.24), totalizando 113,4 mm/mês, o que diminuiu o déficit de umidade do ar no decorrer do mês, conforme pode ser observado pelos altos índices de umidade apresentados na Figura 4.21. Consequentemente, houve menos

A evaporação do mês de maio em Patos é apresentada na Figura 4.25. Observa-se que a exemplo do que aconteceu em Boqueirão neste mês, a diferença entre a evaporação dos tanques foi muito pequena, isso provavelmente ocorreu também, devido a alta umidade do ar (Figura 4.29), em função da ocorrência de precipitação ao longo do mês (Figura 4.32), que totalizou 130,7 mm. Analisando-se a evaporação dos tanques e as condições de temperatura (Figura 4.26), de umidade do ar (Figura 4.29), de radiação solar (Figura 4.30) e de velocidade do vento (Figura 4.31), nota-se que o aumento ou a redução da evaporação, esteve diretamente relacionado com esses fatores climáticos. Observa-se que, quando a temperatura, o déficit de umidade do ar e a incidência de radiação solar são altos, e o vento atua com maior intensidade, ocorre uma maior transferência de vapor d'água para a atmosfera, como pode ser observado no dia 12, que teve o maior valor de evaporação do mês. Analisando a Figura 4.27 nota-se que, como maio foi chuvoso, a temperatura média diurna do ar, praticamente em todos os dias, esteve menor do que a temperatura dos tanques evaporimétricos, e que no período noturno (Figura 4.28), da mesma forma que no mês anterior, a água dos tanques esteve mais aquecida do que o ar, em média, os tanques padrão, T1,0m, T0,5m e TCA, apresentaram temperaturas de 4,4, 3,7, 3,3 e 0,8°C maiores que o ar, respectivamente. Com base na Tabela 4.1, verifica-se que neste mês de maio em Patos, o TCA apresentou evaporação 8,0% superior ao tanque padrão.

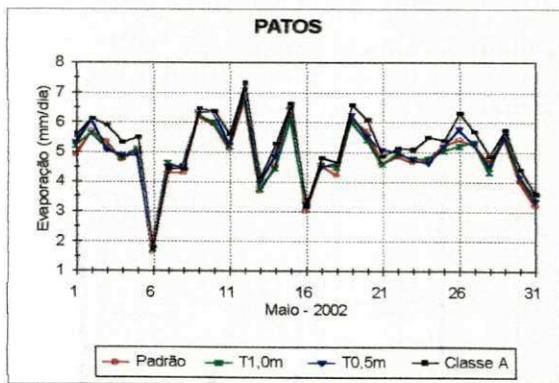


Figura 4.25. Evolução da evaporação média diária durante maio de 2002, em Patos.

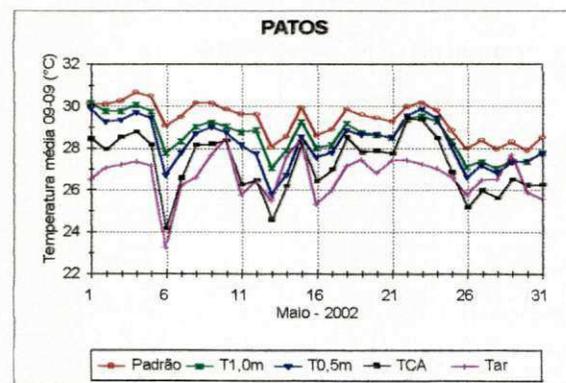


Figura 4.26. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, durante maio de 2002, em Patos.

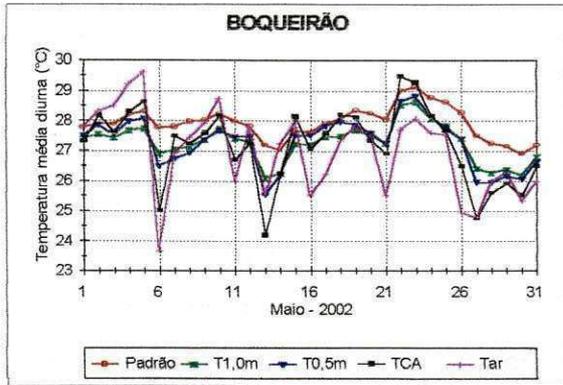


Figura 4.19. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, durante maio de 2002, em Boqueirão.

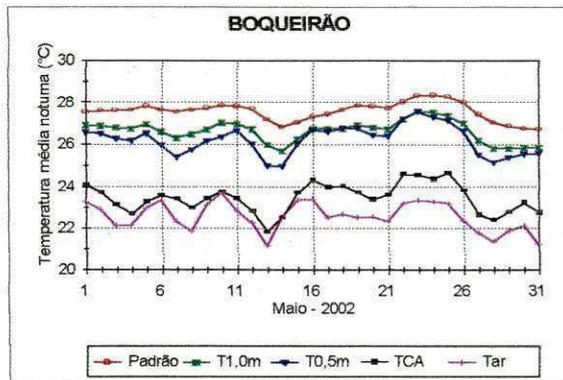


Figura 4.20. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante maio de 2002, em Boqueirão.

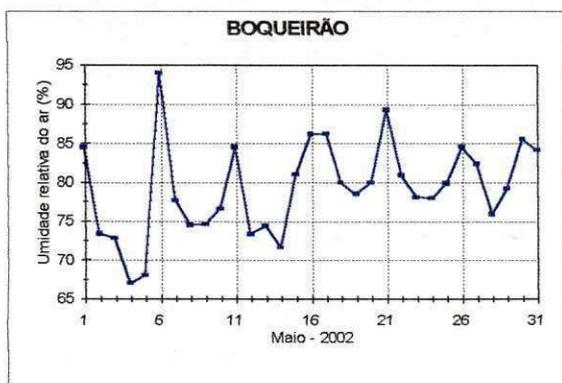


Figura 4.21. Evolução da umidade relativa do ar média diária durante maio de 2002, em Boqueirão.

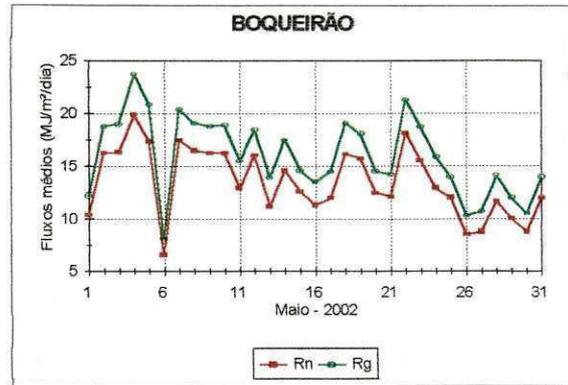


Figura 4.22. Evolução dos fluxos médios diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante maio de 2002, em Boqueirão.

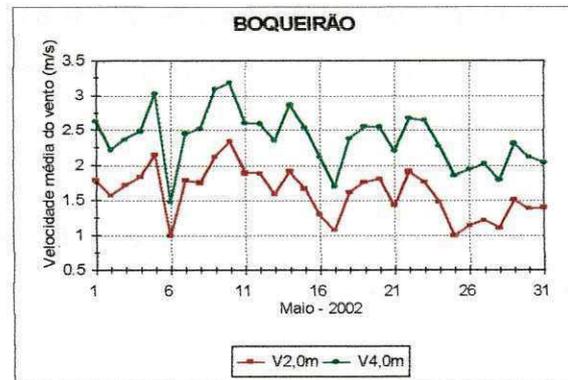


Figura 4.23. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante maio de 2002, em Boqueirão.

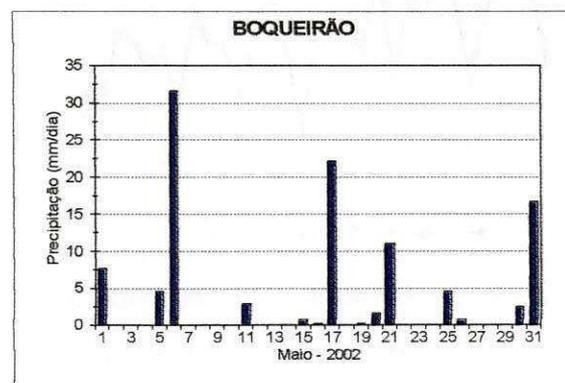


Figura 4.24. Precipitação observada durante maio de 2002, em Boqueirão.

#### 4.1.3 – Evaporação junho - 2002

A evaporação durante o mês de junho em Boqueirão apresentada na Figura 4.33, mostra que da mesma forma que no mês de maio, as taxas de evaporação dos tanques estiveram muito próximas, porém, os valores foram um pouco menores, em relação aos meses anteriores, devido a umidade relativa do ar ter sido alta praticamente durante todo o mês, como pode ser observado na Figura 4.37, e a alta frequência de ocorrência de precipitação, como indica a Figura 4.40. Neste mês de junho choveu em quinze dias, totalizando 49,2 mm/mês. Verifica-se também, que ao longo desse mês, houve acentuada redução dos fluxos de radiação solar (Figura 4.38), bem como, diminuição da temperatura média diária da água dos tanques evaporimétricos e do ar (Figura 4.34). Nota-se que nessas condições, até mesmo durante o período diurno (Figura 4.35), a temperatura média da água do tanque Classe A foi menor que a dos demais tanques. No período noturno (Figura 4.36), a exemplo do que aconteceu nos meses anteriores, houve um maior resfriamento do tanque Classe A. A temperatura média noturna do ar neste mês foi menor 5,6, 4,9, 4,7 e 2,0°C em relação aos tanques padrão, T1,0m, T0,5m e TCA, respectivamente. Verifica-se na Figura 4.39, que embora a atuação do vento não tenha sido tão intensa, foi notável sua influência na transferência de vapor d'água para a atmosfera, e juntamente com os demais parâmetros, nos dias 4, 13 e 21, contribuiu para taxas de evaporação mais elevadas. Diante do exposto, deduz-se que, quando as condições atmosféricas não favorecem um maior aquecimento das paredes metálicas do tanque Classe A, e a umidade do ar é alta, a evaporação indicada por esse tanque torna-se muito próxima a dos demais tanques. Os dados da Tabela 4.1 indicam que o TCA teve nesse mês, um índice médio mensal de evaporação 9,0% superior ao padrão.

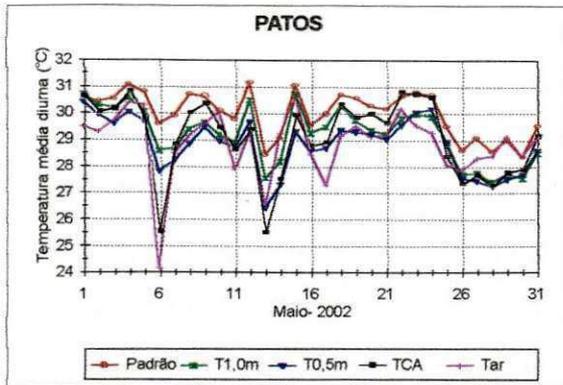


Figura 4.27. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, durante maio de 2002, em Patos.

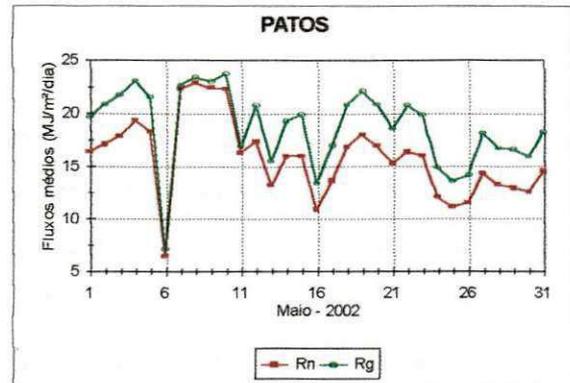


Figura 4.30. Evolução dos fluxos médios diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante maio de 2002, em Patos.

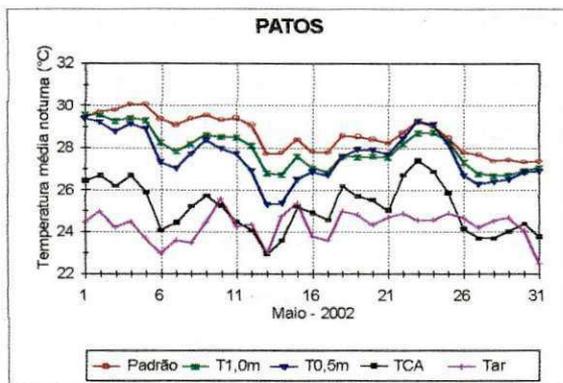


Figura 4.28. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante maio de 2002, em Patos.

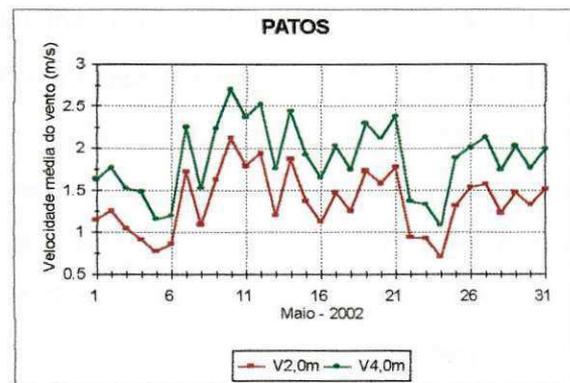


Figura 4.31. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante maio de 2002, em Patos.

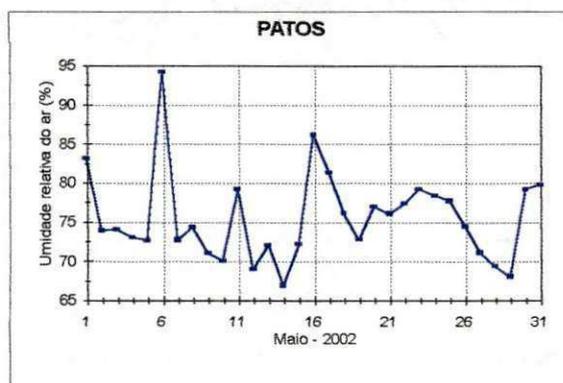


Figura 4.29. Evolução da umidade relativa do ar média diária durante maio de 2002, em Patos.

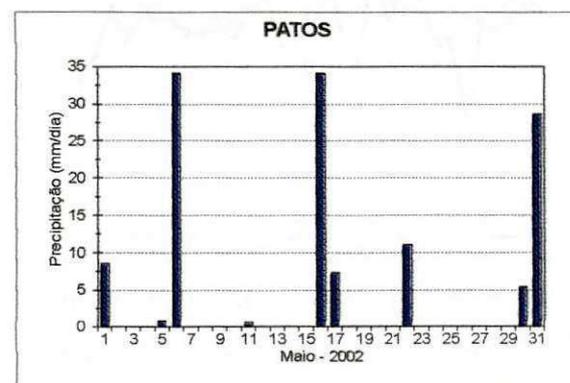


Figura 4.32. Precipitação observada durante maio de 2002, em Patos.

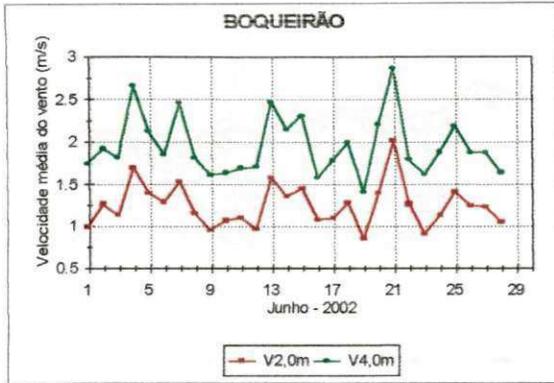


Figura 39. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante junho de 2002, em Boqueirão.

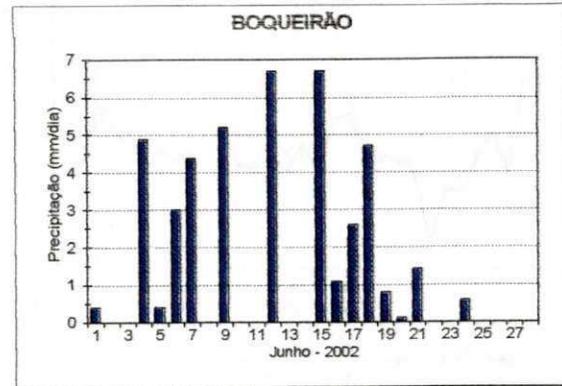


Figura 4.40. Precipitação observada durante junho de 2002, em Boqueirão.

Na Figura 4.41 observar-se que em Patos, do dia 1 ao dia 9 de junho, a diferença entre as taxas de evaporação do TCA e dos demais tanques, ainda foi bem pequena. Isto ocorreu, em função da alta umidade do ar ainda neste período (Figura 4.45), devido ocorrência de precipitação (Figura 4.48), que ao longo do mês totalizou 20,7 mm; baixa incidência de radiação solar (Figura 4.46); baixa temperatura do ar (Figura 4.42); e baixa atuação do vento (Figura 4.47). Observa-se ainda na Figura 4.41, que a partir do dia 9, aumentou um pouco a diferença entre a evaporação do TCA e a dos demais tanques. Verifica-se na Figura 4.42 que a partir dessa data, devido a maior disponibilidade de energia, houve aumento na temperatura média diária do ar, o qual pode ser melhor visualizado, analisando a temperatura do período diurno (Figura 4.43). Nota-se que a partir do dia 21, a temperatura média diurna do ar, superou a temperatura da água dos tanques evaporimétricos. Já no período noturno (Figura 4.44), observa-se que a temperatura do tanque Classe A teve praticamente o mesmo comportamento da temperatura do ar, enquanto os tanques padrão, T1,0m e T0,5m, estiveram mais aquecidos do que o ar 3,4, 2,9 e 2,6°C, respectivamente. Analisando simultaneamente as Figuras 4.41 a 4.47, observa-se que a maior contribuição para as taxas de evaporação mais elevadas no início e no final do mês, resultou da elevada incidência de radiação solar e da baixa umidade do ar. Na Tabela 4.1 verifica-se que o índice médio diário de evaporação do TCA neste mês de junho em Patos, foi superior 9,6% ao do tanque padrão.

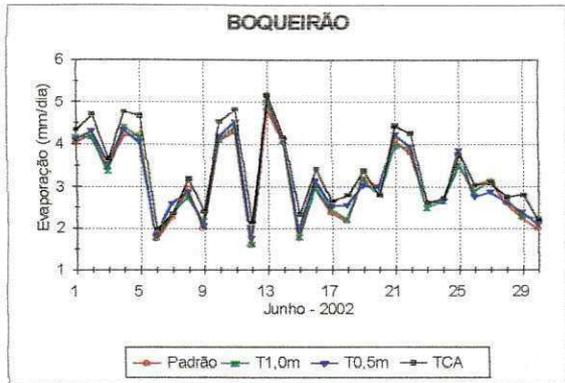


Figura 4.33. Evolução da evaporação média diária durante junho de 2002, em Boqueirão.

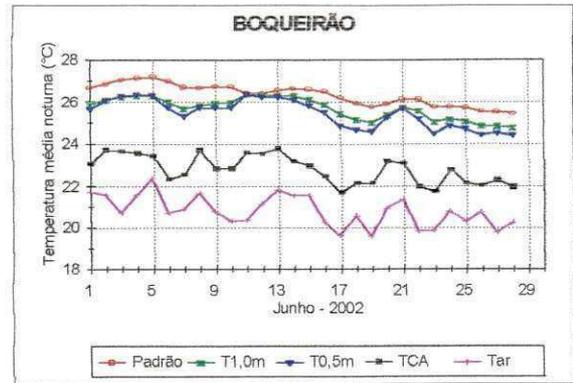


Figura 4.36. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante junho de 2002, em Boqueirão.

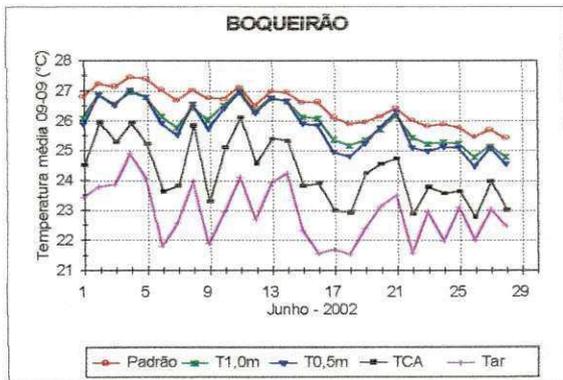


Figura 4.34. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, durante junho de 2002, em Boqueirão.

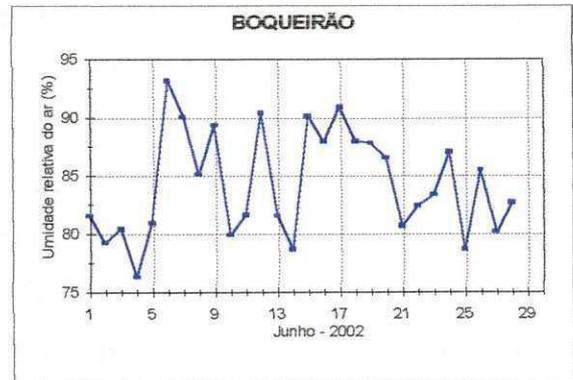


Figura 4.37. Evolução da umidade relativa do ar média diária, durante junho de 2002, em Boqueirão.

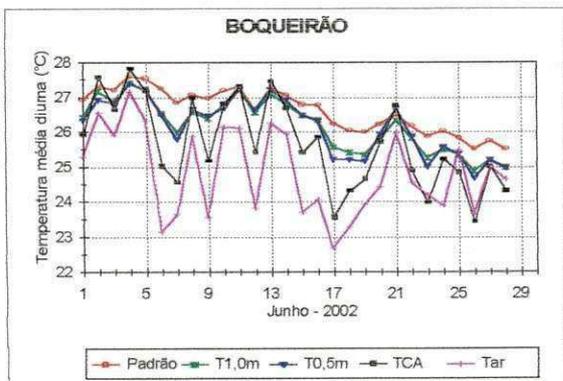


Figura 4.35. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, durante junho de 2002, em Boqueirão.

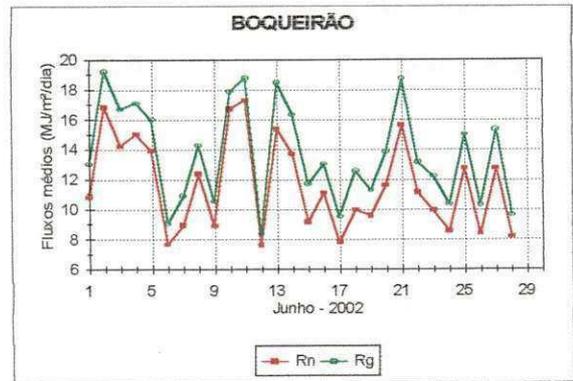


Figura 4.38. Evolução dos fluxos médios diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante junho de 2002, em Boqueirão.

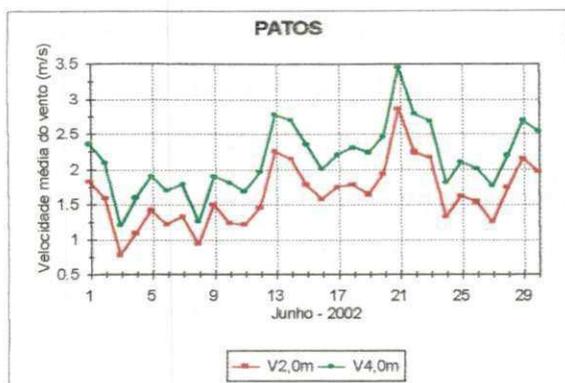


Figura 4.47. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante junho de 2002, em Patos.

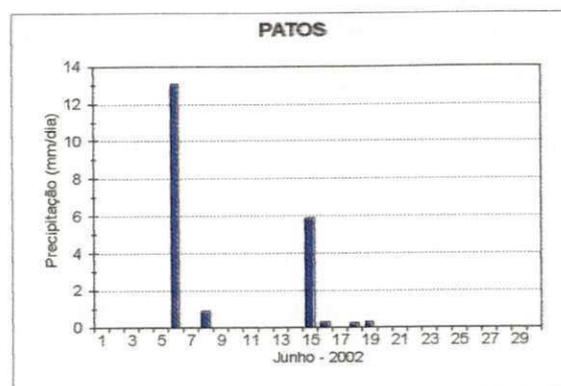


Figura 4.48. Precipitação observada durante junho de 2002, em Patos.

#### 4.1.4 – Evaporação julho - 2002

Observar-se através da Figura 4.49, que no mês de julho em Boqueirão, a exemplo do que aconteceu nos meses de maio e junho, houve ocorrência de precipitação ao longo do mês (Figura 4.56) que totalizou 41,0 mm, e que provavelmente, no início do mês, devido o baixo déficit de saturação do ar, em função da umidade do ar ter continuado ainda elevada, bem como, temperatura do ar e incidência de radiação solar baixa, as taxas de evaporação nos tanques padrão, T1,0m e T0,5m se aproximaram. No entanto, a evaporação do TCA já começou a ser um pouco maior do que a dos demais tanques. Por outro lado, observa-se na Figura 4.49, que no dia 05 a evaporação do tanque padrão foi um pouco maior que a do TCA, isso provavelmente ocorreu, devido às condições de nebulosidade e a ocorrência de precipitação no dia anterior e neste dia, logo, como a lâmina d'água do tanque padrão é maior, houve mais armazenamento de energia, o que não aconteceu com o TCA, o qual teve resfriamento de sua massa d'água, devido sua lâmina d'água menor, constituição metálica e exposição. O efeito da profundidade e da constituição metálica do tanque Classe A no processo evaporativo também foi observado por Leitão et al. (2001). Conforme pode ser observado ainda na Figura 4.49, ao longo do mês, houve redução da evaporação em alguns dias, devido a ocorrência de precipitação, já que durante o mês, choveu em nove dias. Uma análise mais detalhada do comportamento da temperatura média diária, diurna e noturna da água dos tanques evaporimétricos e do ar, da umidade relativa do ar, dos fluxos de radiação

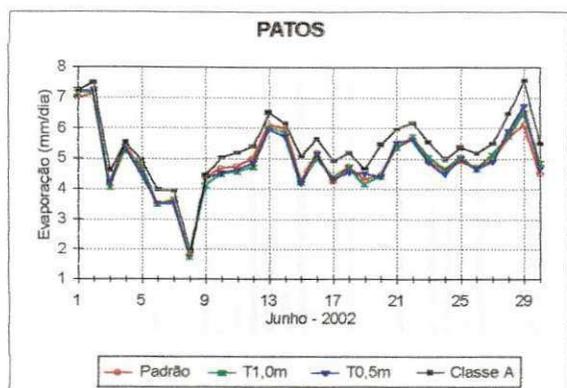


Figura 4.41. Evolução da evaporação diária durante junho de 2002, em Patos.

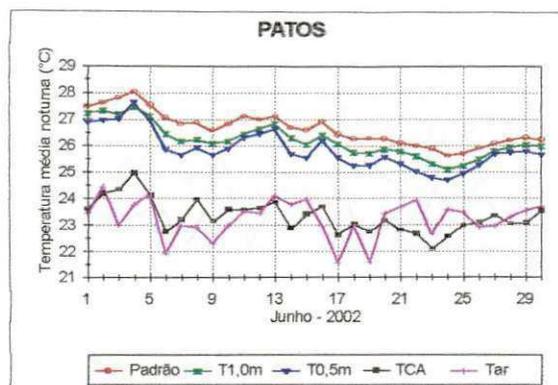


Figura 4.44. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante junho de 2002, em Patos.

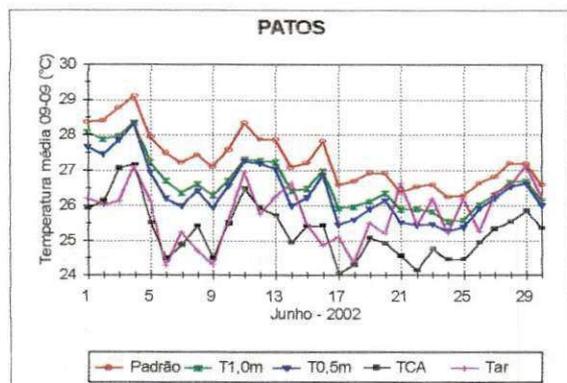


Figura 4.42. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, durante junho de 2002, em Patos.

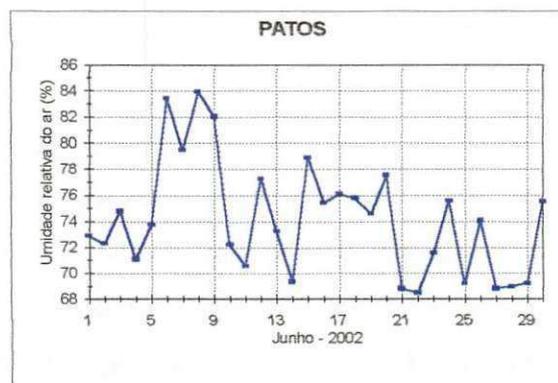


Figura 4.45. Evolução da umidade relativa do ar média diária durante junho de 2002, em Patos.

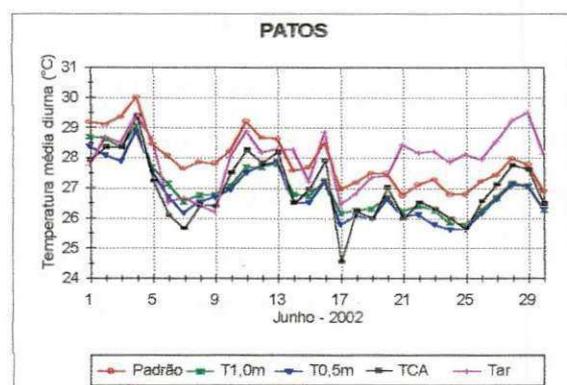


Figura 4.43. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, durante junho de 2002, em Patos.

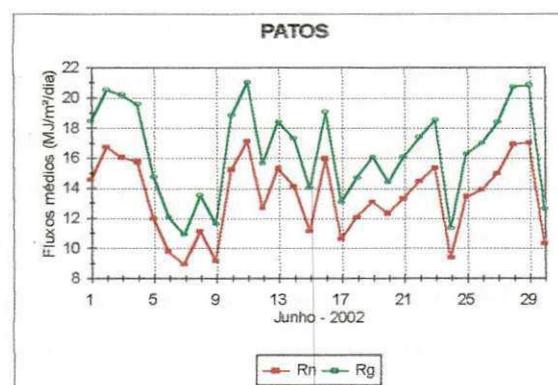


Figura 4.46. Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante junho de 2002, em Patos.

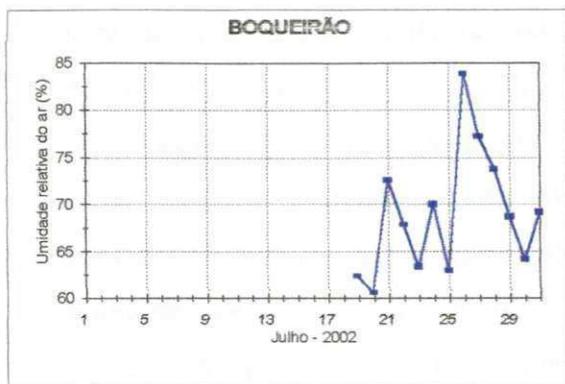


Figura 4.53. Evolução da umidade relativa do ar média diária de 18 a 31 de julho de 2002, em Boqueirão.

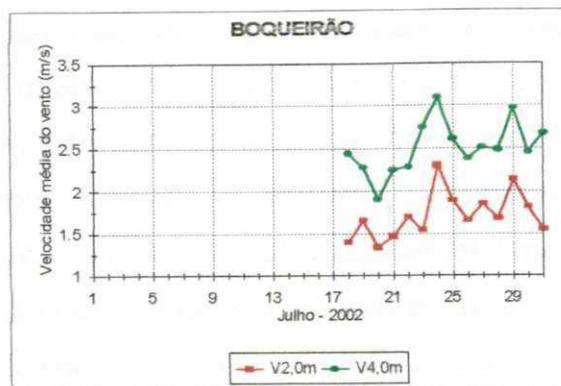


Figura 4.55. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, de 18 a 31 de julho de 2002, em Boqueirão.



Figura 4.54. Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, de 18 a 31 de julho de 2002, em Boqueirão.

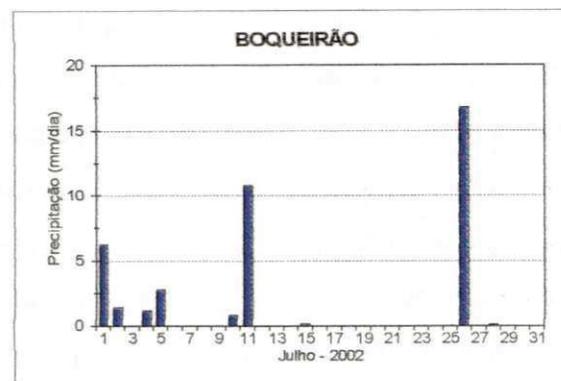


Figura 4.56. Precipitação observada durante julho de 2002, em Boqueirão.

Na Figura 4.57 observa-se que durante todo o mês de julho em Patos, exceto no dia 26, que houve precipitação de 1,9mm (Figura 4.64), a evaporação do tanque Classe A, superou a evaporação dos demais tanques evaporimétricos. Como indica a Tabela 4.1, este índice foi de 25,5% em relação ao tanque padrão. Observa-se ainda na Figura 4.57, que no dia que antecedeu o dia chuvoso (25 de julho), ocorreram os maiores valores de evaporação nesse mês: o tanque padrão evaporou 8,90 mm/dia; o T1,0m, 8,56 mm/dia; o T0,5m, 8,96 mm/dia; e o TCA, 10,62 mm/dia. Esta maior evaporação no dia 25, deve estar associada ao fato de que, como houve redução da umidade do ar deste o dia 11 (Figura 4.61), a atmosfera parece ter

solar e da velocidade do vento para todo o mês, não pode ser efetuada, devido a problemas no sistema de coleta de dados no período de 1 a 18 de julho. No entanto, conforme indica as Figuras 4.50, 4.51, 4.52, 4.53, 4.54, e 4.55, a partir do dia 19 voltou-se a ter os dados, e portanto pode-se observar a relação dos citados parâmetros com o processo de transferência de vapor d'água para a atmosfera. Na Tabela 4.1, verifica-se que em média, durante o mês de julho em Boqueirão, a evaporação do tanque Classe A foi superior a do tanque padrão 14,5%.

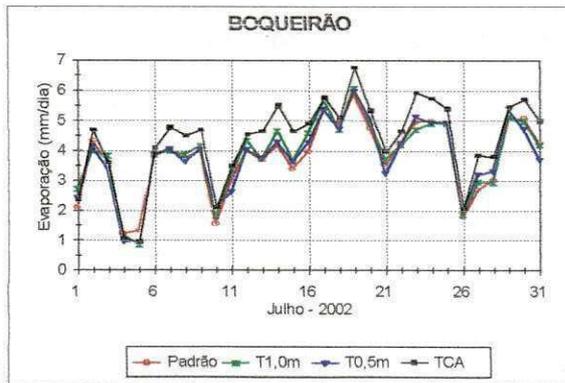


Figura 4.49. Evolução da evaporação diária durante julho de 2002, em Boqueirão.

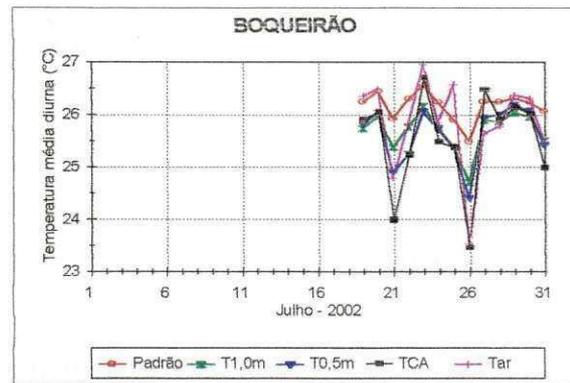


Figura 4.51. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, de 18 a 31 de julho de 2002 em Boqueirão.

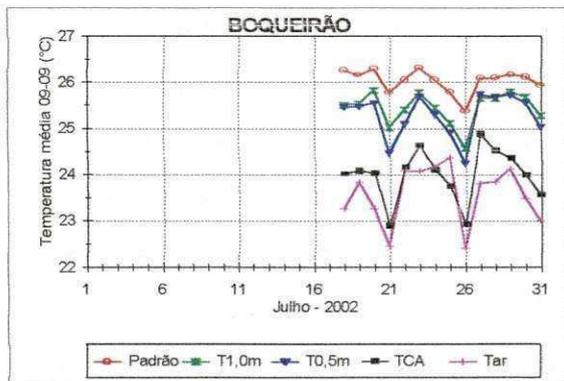


Figura 4.50. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, de 18 a 31 de julho de 2002 em Boqueirão.

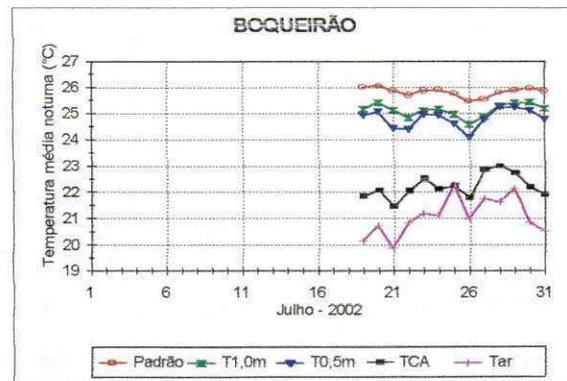


Figura 4.52. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, de 18 a 31 de julho de 2002 em Boqueirão.

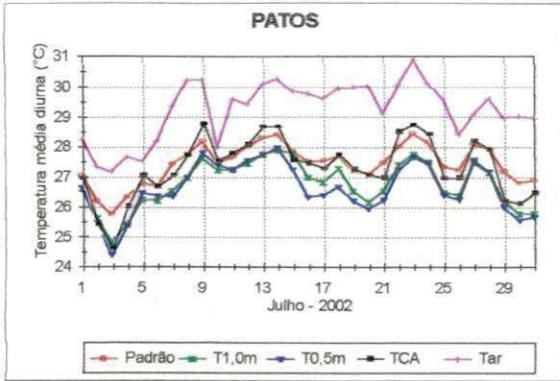


Figura 4.59. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, durante julho de 2002, em Patos.

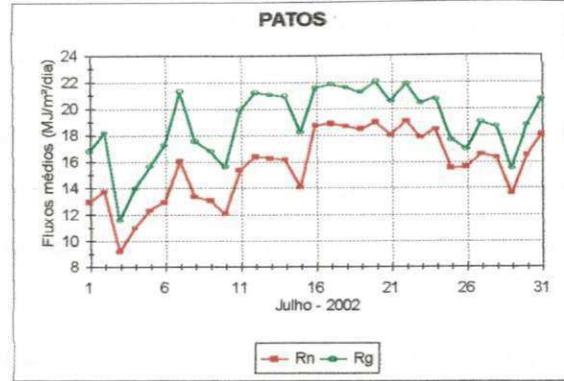


Figura 6.62. Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante julho de 2002, em Patos.

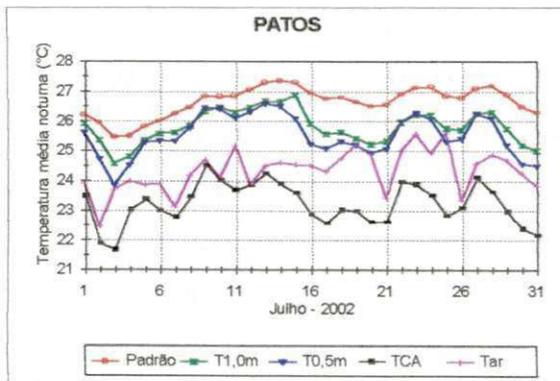


Figura 4.60. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante julho de 2002, em Patos.

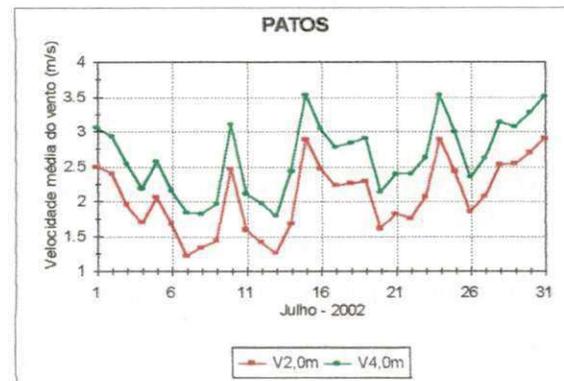


Figura 4.63. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante julho de 2002, em Patos.

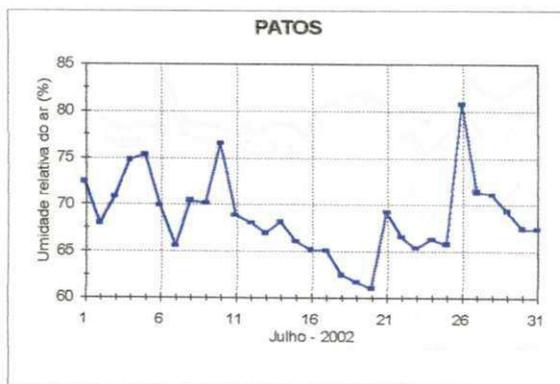


Figura 4.61. Evolução da umidade relativa do ar média diária durante julho de 2002, em Patos.

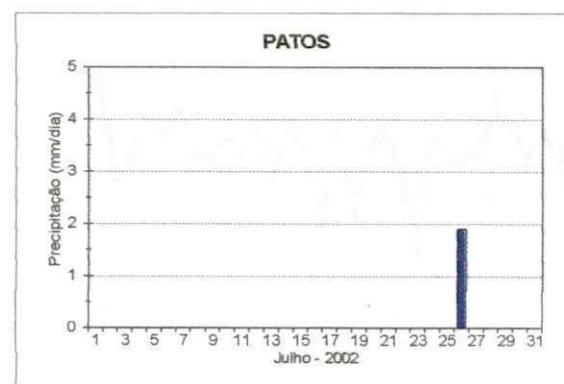


Figura 4.64. Precipitação observada durante julho de 2002, em Patos.

atuado com mais intensidade, retirando mais água das superfícies livres, para suprir seu déficit. Esse fato tem sido observado com freqüência em dias que antecedem dias chuvosos, após um período de baixa umidade relativa do ar. Deste modo, a perda d'água para a atmosfera está associada a atuação principalmente dos parâmetros: umidade do ar, temperatura, radiação solar e velocidade do vento. Portanto, quando há aumento do índice de evaporação, verifica-se que existe relação com esses ou algum desses parâmetros, embora em determinadas situações, a atuação não seja necessariamente simultânea, e apenas um deles seja mais intenso do que os outros. Um exemplo claro disso aconteceu no dia 10 de julho, quando mesmo tendo havido aumento da umidade do ar (Figura 4.61), diminuição da temperatura do ar (Figura 4.58) e redução dos fluxos de radiação solar (Figura 4.62), houve aumento da evaporação, como pode ser observado na Figura 4.57. Neste caso em particular, o aumento da evaporação está diretamente associado ao aumento da velocidade do vento (Figura 4.63). Na Figura 4.59 nota-se que ao longo do mês de julho, durante o período diurno a temperatura do ar superou a temperatura da água de todos os tanques evaporimétricos, já no período noturno (Figura 4.60), superou apenas a temperatura da água do tanque Classe A, em média  $1,2^{\circ}\text{C}$ . Ou seja, como esse mês foi quente, observou-se que mesmo durante a noite, a temperatura do ar foi elevada, e o fato do tanque Classe A estar exposto e ser de metal, logo resfriou-se, o que não aconteceu com os tanque padrão, T1,0m e T0,5m que permaneceram mais aquecidos do que o ar  $2,3$ ,  $1,4$  e  $1,1^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.

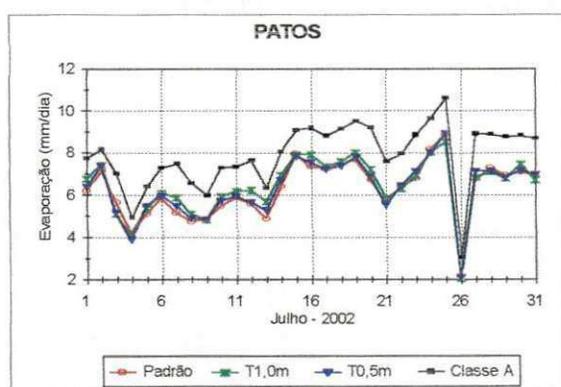


Figura 4.57. Evolução da evaporação diária durante julho de 2002, em Patos.

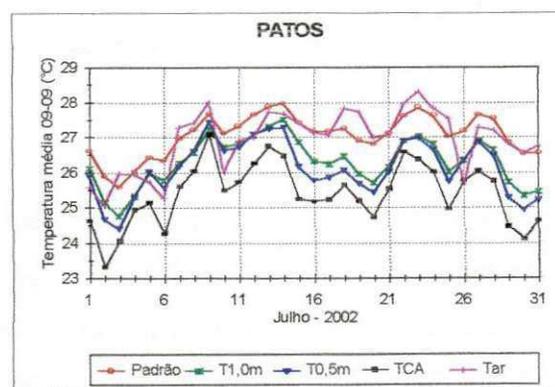


Figura 4.58. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, durante julho de 2002, em Patos.

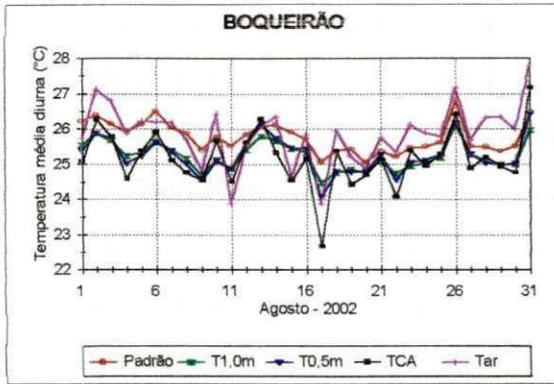


Figura 4.67. Evolução da temperatura média diária da água dos tanques e do ar, durante agosto de 2002, em Boqueirão.

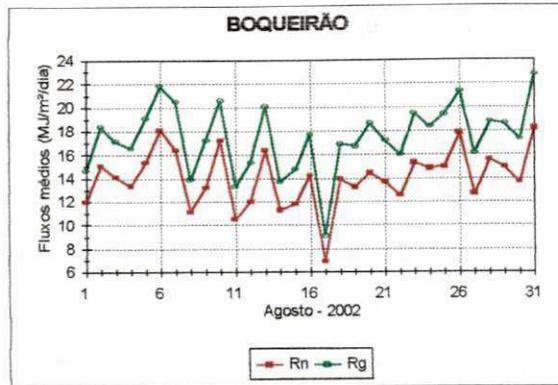


Figura 4.70. Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante agosto de 2002, em Boqueirão.

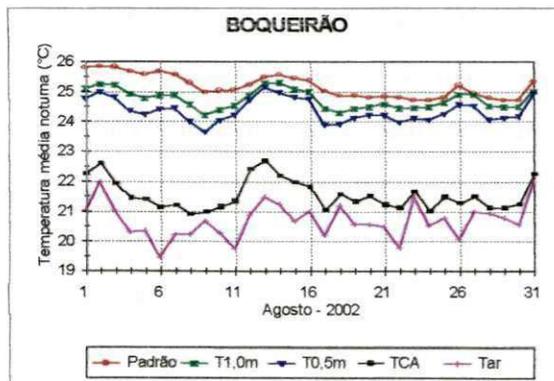


Figura 4.68. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante agosto de 2002, em Boqueirão.

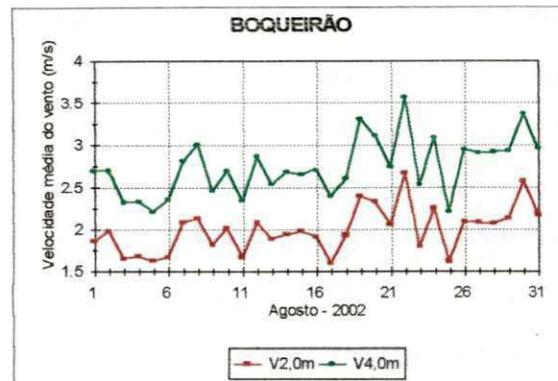


Figura 4.71. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante agosto de 2002, em Boqueirão.

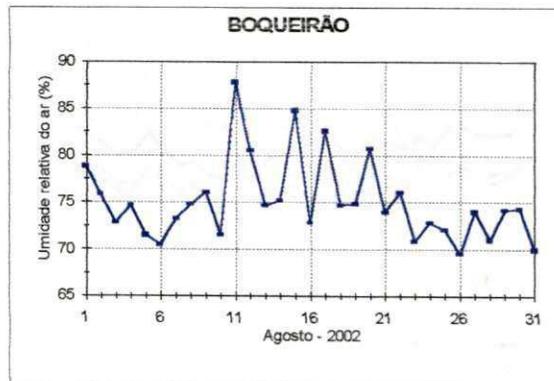


Figura 4.69. Evolução da umidade relativa do ar média diária durante agosto de 2002, em Boqueirão.

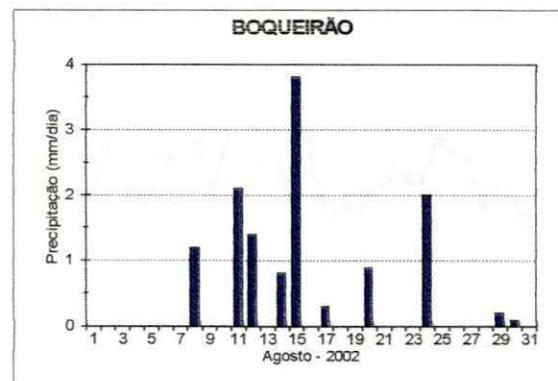


Figura 4.72. Precipitação observada durante agosto de 2002, em Boqueirão.

## 4.1.5 – Evaporação agosto – 2002

Na Figura 4.65 é apresentada a evaporação observada ao longo do mês de agosto em Boqueirão. Conforme pode ser observado, durante esse mês, a diferença entre a evaporação do tanque Classe A e os demais tanques, passou a ser um pouco maior, embora tenha ocorrido precipitação em dez dias (Figura 4.72), totalizando 13,4 mm/mês. Observa-se ainda na Figura 4.65, que quando a evaporação diminuiu, seja por ocorrência de precipitação, umidade do ar alta (Figura 4.69), temperatura baixa (Figura 4.66), baixa incidência de radiação solar (Figura 4.70), bem como, pela ação do vento (Figura 4.71), em alguns dias em particular, a evaporação do tanque padrão foi um pouco maior do que as observadas nos tanques T1,0m e T0,5m. Como já foi comentado anteriormente, isso deve ter ocorrido devido a um maior armazenamento de energia no tanque padrão. Observa-se ainda que no dia 13, apesar da ocorrência de precipitação nos dias anteriores, o TCA ao contrário dos demais tanques, com a diminuição da umidade do ar, aumento da temperatura do ar e maior incidência de radiação solar, teve maior aquecimento, o que favoreceu a uma maior evaporação. Analisando a Figura 4.67, nota-se que nesse mês, como começou a esquentar, durante o dia a temperatura do ar superou a temperatura da água dos tanques evaporimétricos. Já no período noturno (Figura 4.68), ao contrário, a temperatura do ar foi inferior 4,5, 4,1, 3,7 e 0,8°C, respectivamente, em relação aos tanques: padrão; T1,0m; T0,5m; e TCA. Em termos de média diária de evaporação, verifica-se na Tabela 4.1 que em agosto, o TCA apresentou um índice de 21,8% a mais do que o tanque padrão.

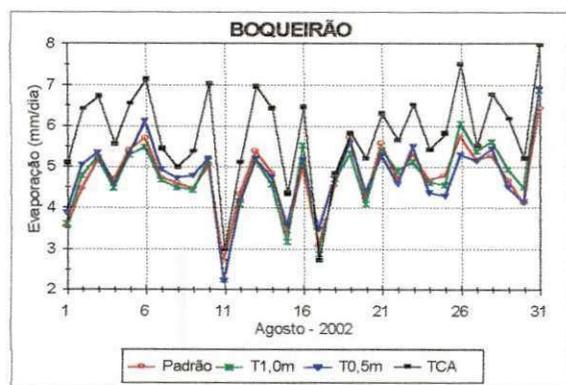


Figura 4.65. Evolução da evaporação diária durante agosto de 2002, em Boqueirão.

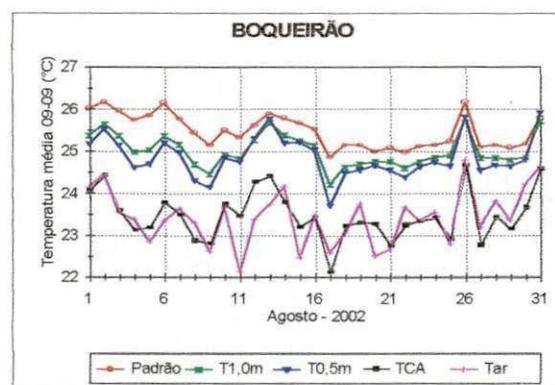


Figura 4.66. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, durante agosto de 2002, em Boqueirão.

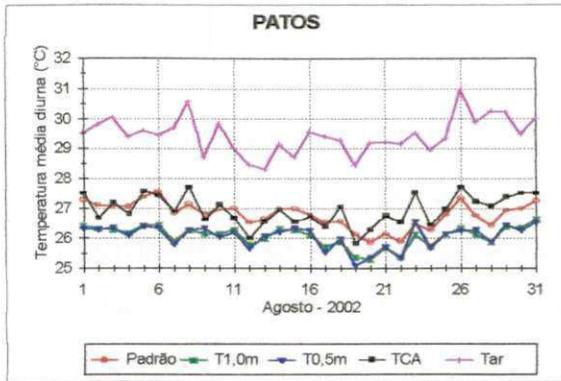


Figura 4.75. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, durante agosto de 2002, em Patos.

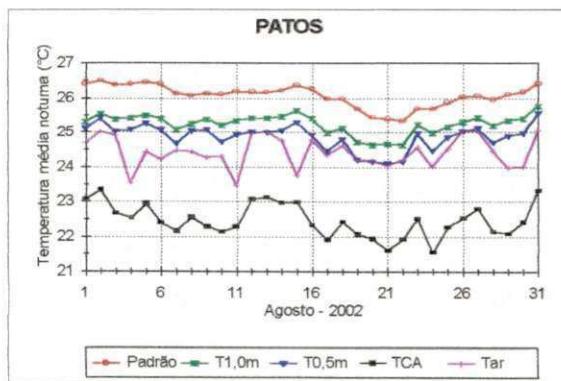


Figura 4.76. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante agosto de 2002, em Patos.

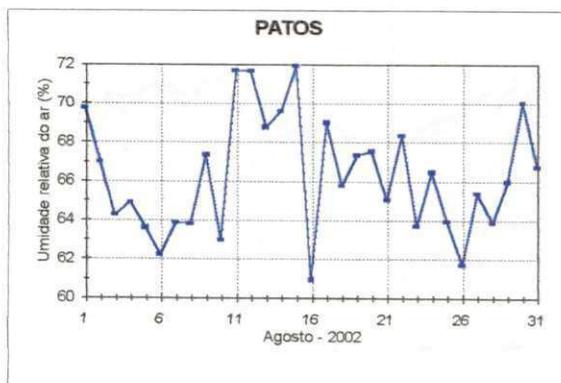


Figura 4.77. Evolução da umidade relativa do ar média diária durante agosto de 2002, em Patos.

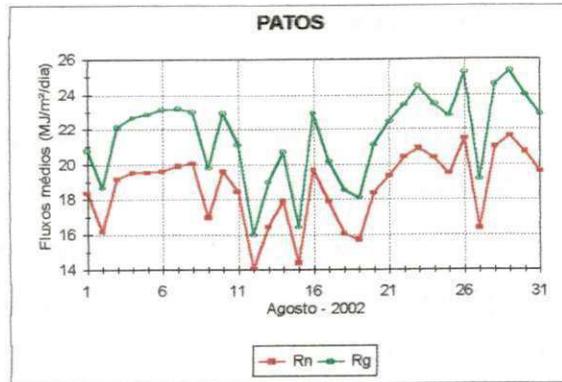


Figura 4.78. Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante agosto de 2002, em Patos.

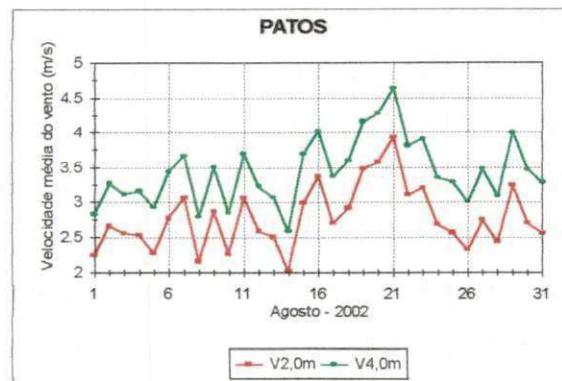


Figura 4.79. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante agosto de 2002, em Patos.

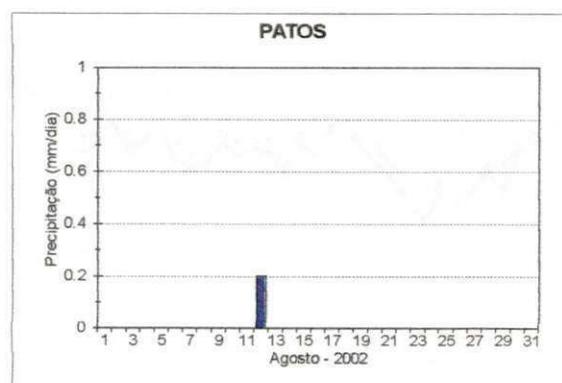


Figura 4.80. Precipitação observada durante agosto de 2002, em Patos.

A evaporação observada no mês de agosto em Patos, é apresentada na Figura 4.73. Nota-se que as taxas de evaporações dos tanques evaporimétricos, durante este mês, foram mais elevadas do que no mês anterior, devido a redução de umidade do ar (Figura 4.77), aumento da temperatura do ar (Figura 4.74), bem como, maior incidência de radiação solar (Figura 4.78) e maior ação do vento (Figura 4.79). O total de precipitação pluviométrica durante o mês foi de apenas 0,2mm (Figura 4.80). Verifica-se que nesse mês, a diferença da evaporação do tanque Classe A para os demais tanques foi mais acentuada, indicando que os efeitos climáticos foram mais acentuados sobre este tanque. Devem ter contribuído para esta situação, particularmente, o aumento da velocidade do vento, a maior incidência de radiação solar, além do aumento expressivo da temperatura do ar no período diurno (Figura 4.75), em média, a temperatura do ar esteve mais aquecida 2,7; 3,4; 3,4 e 2,6°C, respectivamente, em relação a água dos tanques: padrão; T1,0m; T0,5m; e TCA. Na Figura 4.76 observa-se que no período noturno, enquanto os tanques padrão, T1,0m e T0,5m estiveram mais aquecidos do que o ar, 1,7; 0,9 e 0,5°C, respectivamente, o TCA teve temperatura 1,9°C menor que o ar. Na Tabela 4.1, observa-se que a evaporação do tanque Classe A, apresentou um índice médio diário no mês de agosto superior ao tanque padrão de 24,0%. Comparando as taxas de evaporação do mês de agosto em Patos e Boqueirão, nota-se claramente a influência das condições climáticas local no processo evaporativo. Pois, apesar de se tratar do mesmo período, como Patos está localizada numa região mais quente, suas condições climáticas são bem diferentes daquelas na região de Boqueirão, que neste mês ainda tem um clima ameno. Com isso, as taxas de evaporação em Patos, principalmente no TCA, o mais influenciado pelas condições climáticas, foram bem mais elevadas do que em Boqueirão.

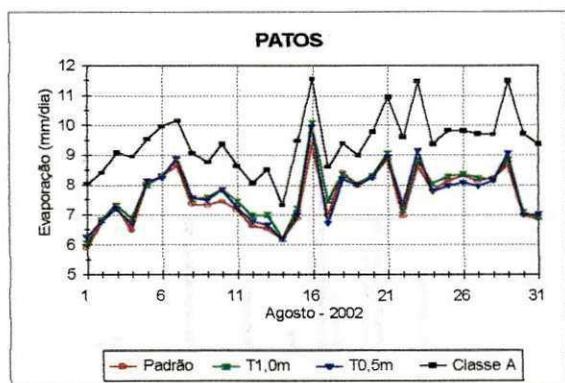


Figura 4.73. Evolução da evaporação diária durante agosto de 2002, em Patos.

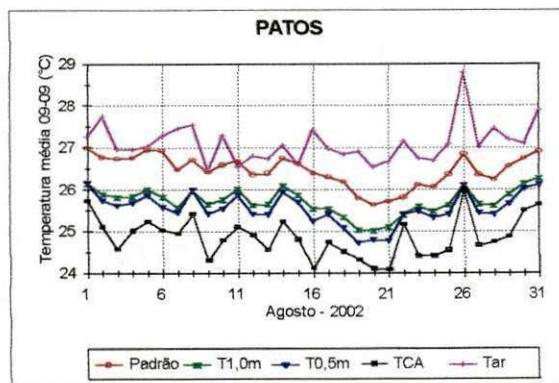


Figura 4.74. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, durante agosto de 2002, em Patos.

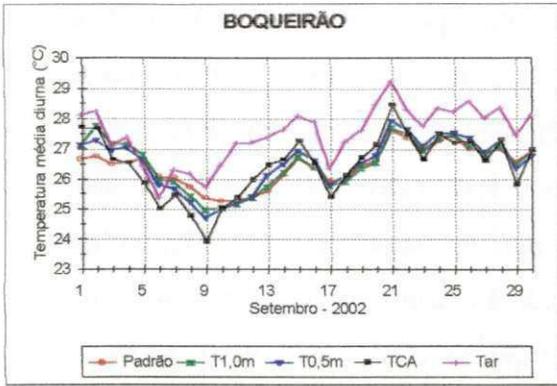


Figura 4.83. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, durante setembro de 2002, em Patos.

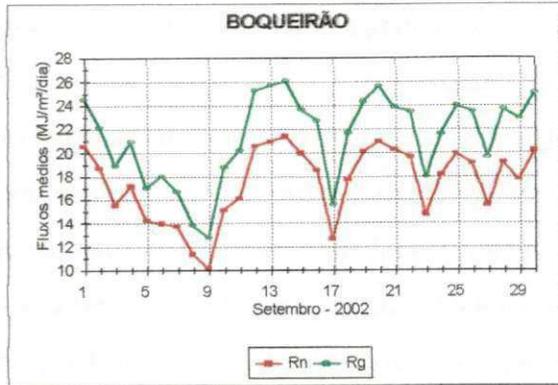


Figura 4.86. Evolução dos fluxos médios de radiação líquida e radiação solar incidente, durante setembro de 2002, em Boqueirão.

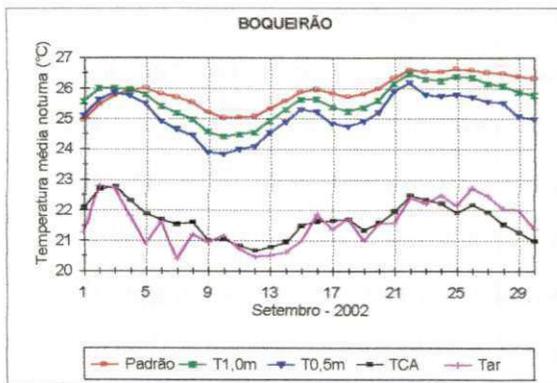


Figura 4.84. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante setembro de 2002, em Boqueirão.

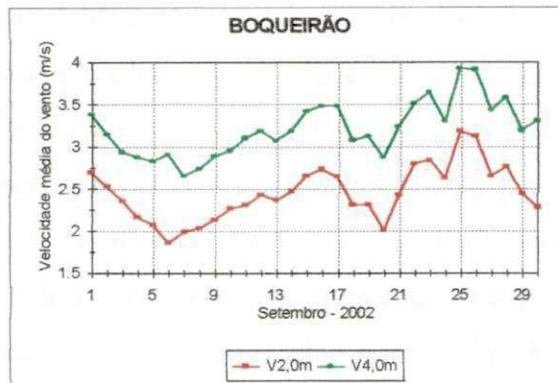


Figura 4.87. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante setembro de 2002, em Boqueirão.

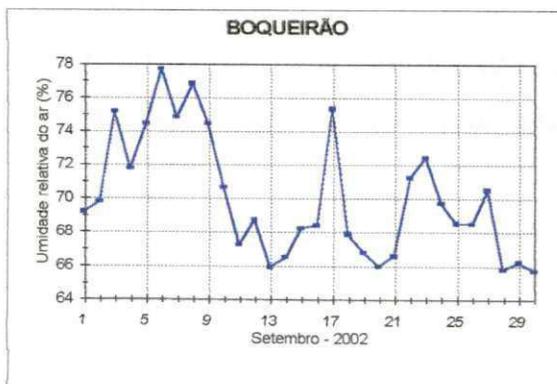


Figura 4.85. Evolução da umidade relativa do ar média diária durante setembro de 2002, em Boqueirão.

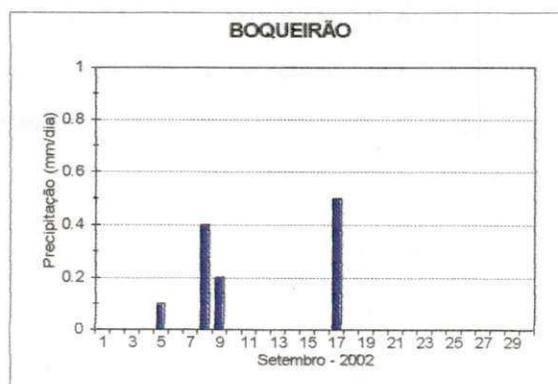


Figura 4.88. Precipitação observada durante setembro de 2002, em Boqueirão.

## 4.1.6 – Evaporação setembro - 2002

A evaporação durante o mês de setembro em Boqueirão pode ser observada na Figura 4.81. Verifica-se que do dia 1 ao dia 9 e no dia 17, houve redução da evaporação, devido ao aumento da umidade relativa do ar (Figura 4.85), diminuição da temperatura do ar (Figura 4.82), menor incidência de radiação solar (Figura 4.86) em função do aumento da nebulosidade, e redução da velocidade do vento (Figura 4.87), que culminaram com precipitações pequenas em alguns dias isolados do mês (Figura 4.88), totalizando apenas 1,2 mm/mês. Observa-se também que do dia 10 ao dia 16, houve um aumento expressivo da evaporação do tanque Classe A em relação aos demais tanques, que está associado a diminuição da umidade do ar, aumento da temperatura diurna do ar (Figura 4.83), bem como, da radiação solar incidente e da velocidade do vento. Nota-se na Figura 4.83 que do dia 7 até o final do mês, a temperatura diurna do ar foi superior a temperatura da água dos tanques evaporimétricos. No entanto, no período noturno (Figura 4.84) a temperatura do ar foi inferior 4,3, 4,0 e 3,5°C, respectivamente, em relação aos tanques padrão, T1,0m e T0,5m. Já em relação ao TCA, foi de apenas 0,1°C, isso ocorreu, devido às condições de exposição e constituição do tanque Classe A já comentado anteriormente. Na Tabela 4.1, constata-se que a evaporação do tanque Classe A, durante o mês de setembro em Boqueirão, foi 31,1% superior a do tanque padrão. Nota-se ainda que devido às condições mais favoráveis nesse mês, além do aumento da evaporação, houve também aumento da diferença entre a evaporação do tanque Classe A e os demais tanques.

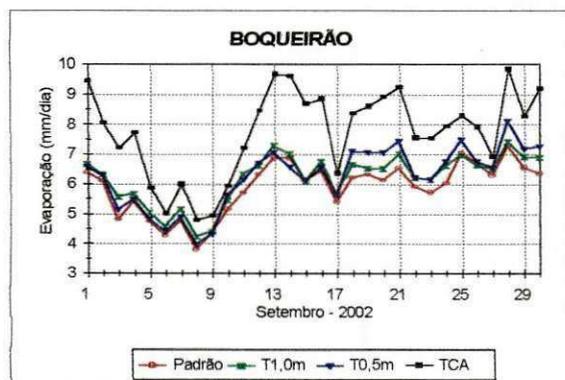


Figura 4.81. Evolução da evaporação diária durante setembro de 2002, em Boqueirão.

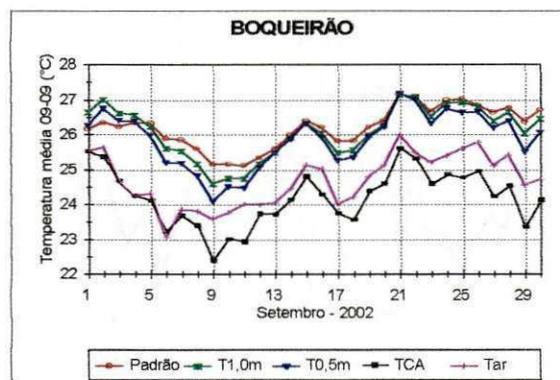


Figura 4.82. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, durante setembro de 2002, em Boqueirão.

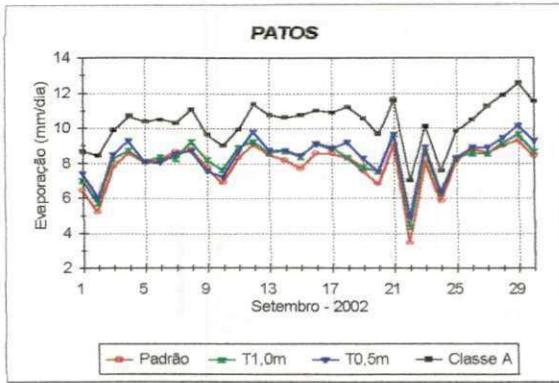


Figura 4.89. Evolução da evaporação diária durante setembro de 2002, em Patos.

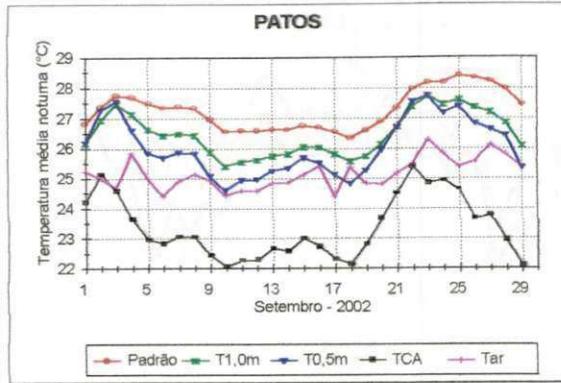


Figura 4.92. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante setembro de 2002, em Patos.

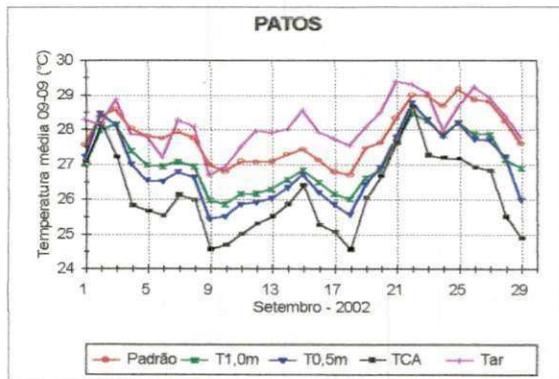


Figura 4.90. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, durante setembro de 2002, em Patos.

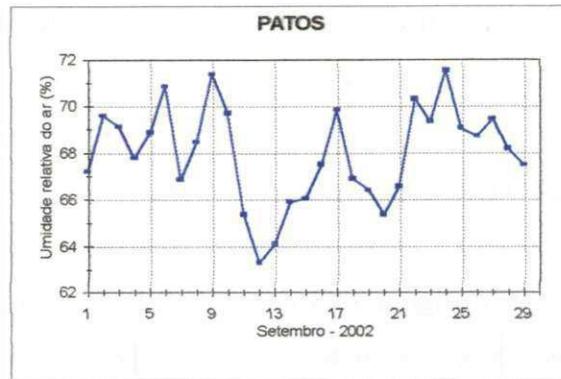


Figura 4.93. Evolução da umidade relativa do ar média diária durante setembro de 2002, em Patos.

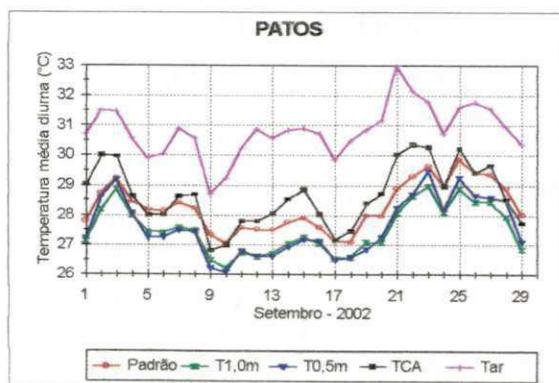


Figura 4.91. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, durante setembro de 2002, em Patos.

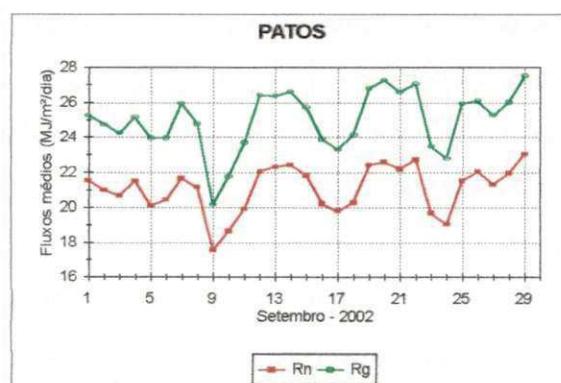


Figura 4.94. Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante setembro de 2002, em Patos.

A evaporação durante o mês de setembro em Patos, pode ser observada na Figura 4.89. Constata-se que a evaporação ao longo desse mês, foi relativamente alta, com exceção de alguns dias em particular, em que houve aumento da umidade relativa do ar (Figura 4.93); diminuição da temperatura do ar e da água dos tanques evaporimétricos (Figura 4.90), sendo isso melhor visualizado quando considera-se apenas o período diurno (Figura 4.91); redução dos fluxos de radiação solar (Figura 4.94) e da velocidade do vento (Figura 4.95). Analisando em conjunto a evolução desses parâmetros, verifica-se que no dia 22, embora tenha havido um ligeiro aumento dos fluxos de radiação, a evaporação diminuiu significativamente, devido ao aumento da umidade do ar, diminuição da temperatura do ar e da velocidade do vento, que culminou com uma precipitação nesse dia de 1,8mm (Figura 4.96). O total mensal de precipitação foi de apenas 2,3 mm. Outra situação interessante é observada no dia 17, onde nota-se que embora a umidade do ar tenha aumentado, a temperatura do ar e da água dos tanques e os fluxos de radiação solar tenham diminuído, houve uma pequena redução da evaporação dos tanques, devido a maior atuação do vento nesse dia, ou seja, o vento contribuiu para aumentar a evaporação, compensando assim, a diminuição de evaporação proporcionada pelos demais parâmetros. Observando o comportamento da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar durante o período diurno e noturno ao longo desse mês, Figuras 4.91 e 4.92, verifica-se que no período diurno, o ar foi mais quente 2,5, 3,3, 3,2 e 2,2°C, respectivamente, em relação aos tanques: padrão, T1,0m, T0,5m e TCA. Já no período noturno (Figura 4.92), enquanto os tanques padrão, T1,0m e T0,5m estiveram mais aquecidos do que o ar 2,1, 1,3 e 0,9°C, respectivamente, o TCA teve temperatura de 1,8°C menor que o ar. Observa-se também, que no período noturno a temperatura da água do TCA foi bem menor do que a dos demais tanques, em média, 3,9°C em relação ao padrão, 3,1°C em relação ao T1,0m e 2,7°C em relação ao T0,5m. De acordo com os dados da Tabela 4.1, a evaporação do tanque Classe A, no mês de setembro em Patos foi maior do que àquela observada no tanque padrão 30,3%.

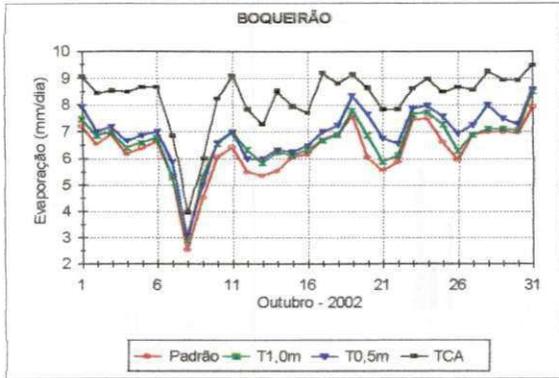


Figura 4.97. Evolução da evaporação diária durante outubro de 2002, em Boqueirão.

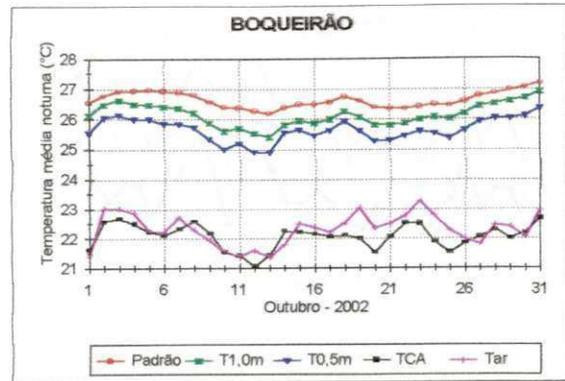


Figura 4.100. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante outubro de 2002, em Boqueirão.

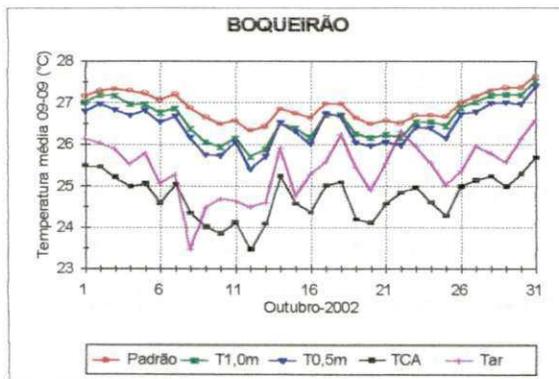


Figura 4.98. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, durante outubro de 2002, em Boqueirão.

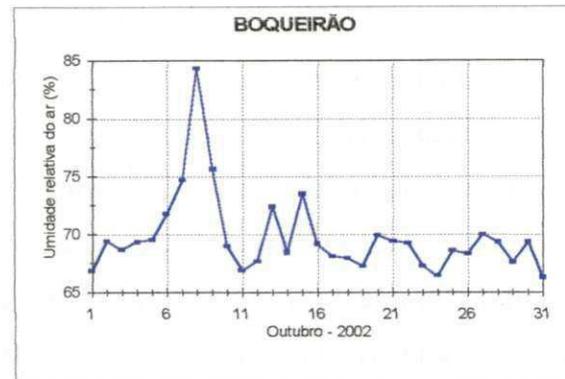


Figura 4.101. Evolução da umidade relativa do ar média diária durante outubro de 2002, em Boqueirão.

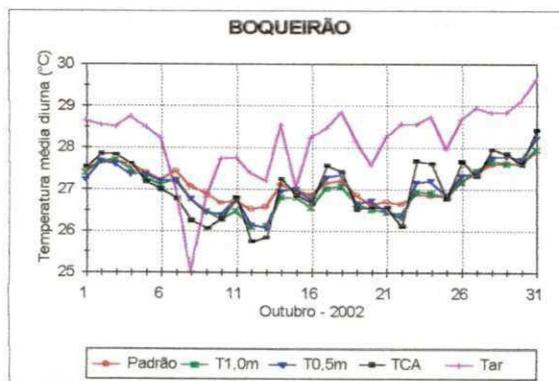


Figura 4.99. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, durante outubro de 2002, em Boqueirão.

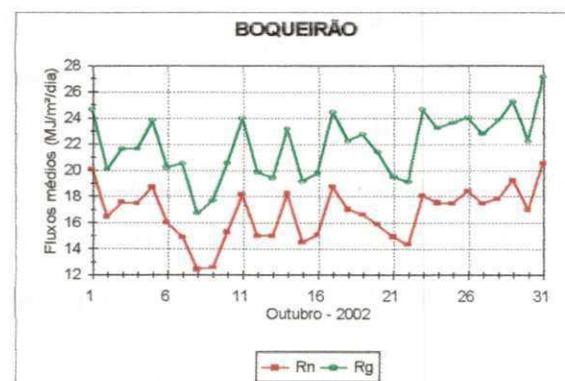


Figura 4.102. Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante outubro de 2002, em Boqueirão.

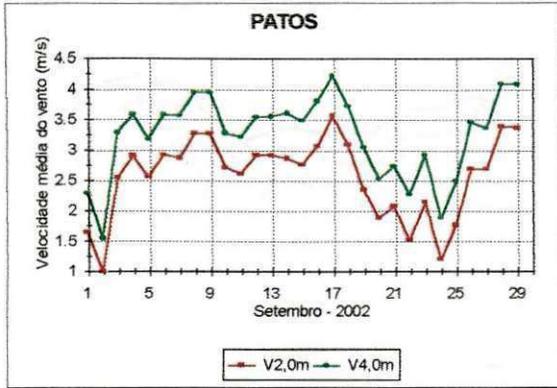


Figura 4.95. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante setembro de 2002, em Patos.

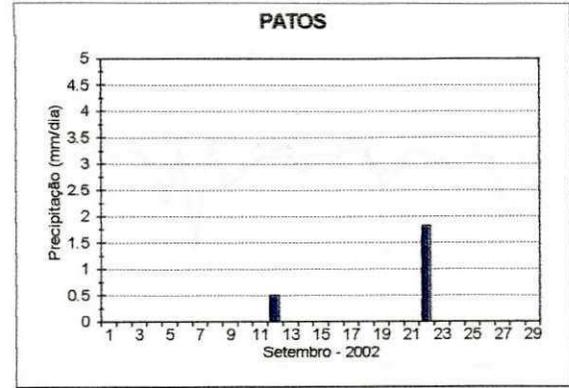


Figura 4.96. Precipitação observada durante setembro de 2002, em Patos.

#### 4.1.7 – Evaporação outubro - 2002

Na figura 4.97 é apresentada a evaporação durante o mês de outubro em Boqueirão. Observa-se que no decorrer desse mês, a evaporação do tanque Classe A foi um pouco maior do que àquela observada nos demais tanques, no entanto, essa diferença foi um pouco menor do que a observada no mês de setembro. Analisando ainda a Figura 4.97, observa-se que do dia 7 ao dia 9, devido a umidade relativa do ar ter aumentado significativamente (Figura 4.101), e a temperatura do ar (Figura 4.98), os fluxos de radiação solar (Figura 4.102) e a velocidade do vento (Figura 4.103) terem diminuído, culminando com a ocorrência de precipitação (Figura 4.104) que totalizou 5,5 mm/mês, ocorreram os menores valores diários de evaporação durante o mês de outubro. Analisando o comportamento da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, durante os períodos diurno (Figura 4.100) e noturno (Figura 4.101), observa-se que durante o dia o ar esteve mais aquecido  $1,1^{\circ}\text{C}$  do que os tanques padrão, T0,5m e TCA e  $1,2$  em relação ao T1,0m. Porém, no período noturno, verifica-se uma inversão dessa situação em relação aos tanques padrão, T1,0m e T0,5m, estiveram mais aquecidos do que o ar  $4,4$ ;  $3,9$ ; e  $3,9^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Já o tanque Classe A, foi o único que permaneceu menos aquecido do que o ar ( $-0,2^{\circ}\text{C}$ ). Na Tabela 4.1 verifica-se que a evaporação do tanque Classe A em outubro, superou a evaporação do tanque padrão em  $27,4\%$ .

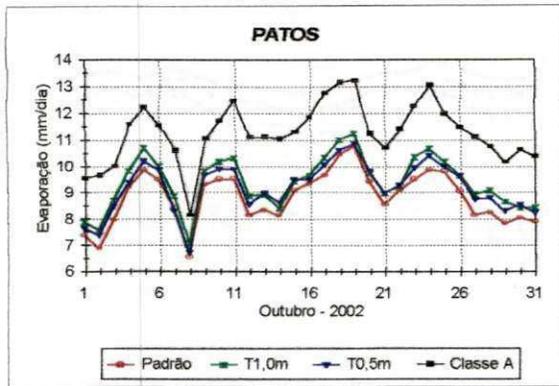


Figura 4.105. Evolução da evaporação diária durante outubro de 2002, em Patos.

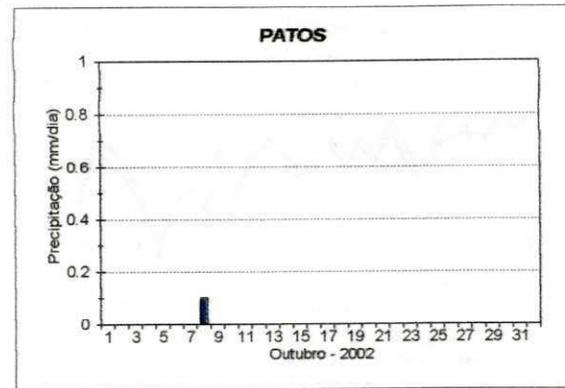


Figura 4.106. Precipitação observada durante outubro de 2002, em Patos.

#### 4.1.8 – Evaporação novembro - 2002

Na Figura 4.107, que mostra a evaporação dos tanques evaporimétricos durante o mês de novembro em Boqueirão, observa-se que devido a menor umidade relativa do ar (Figura 4.111), aumento da temperatura do ar (Figura 4.108) e maior incidência de radiação solar (Figura 4.112) e velocidade do vento (Figura 4.113), exceto nos dias 8, 20, 22, 23, 24, 25 e 30, nos demais dias de novembro, os tanques evaporimétricos, e principalmente o tanque Classe A, apresentaram altas taxas de evaporação. O maior aquecimento da temperatura do ar, influenciando no processo evaporativo, pode ser melhor visualizado quando se observa a temperatura do ar e dos tanques durante o período diurno (Figura 4.109). Vê-se que o ar esteve mais aquecido do que os tanques padrão e Classe A,  $1,1^{\circ}\text{C}$ , e em relação aos tanques T1,0m e T0,5m,  $1,2^{\circ}\text{C}$ . Já no período noturno (Figura 4.110), o aquecimento da água dos tanques padrão, T1,0m e T0,5m em relação ao ar, foi em média de  $4,3$ ,  $3,7$  e  $3,1^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, e o Classe A, teve temperatura  $0,4^{\circ}\text{C}$  menor que o ar. Ainda na Figura 4.107, nota-se que a diferença entre a evaporação do tanque Classe A e os demais tanques, depois do dia 20, passou a diminuir. Isso ocorreu, a partir do momento em que houve diminuição do déficit de umidade do ar, da temperatura do ar e da radiação solar incidente, o que também culminou com ocorrência de precipitação em alguns dias (Figura 4.114), que totalizou  $8,8$  mm/mês. Na Figura 4.113 observa-se que, apesar da diminuição da velocidade do vento em alguns dias dos 20 primeiros dias do mês, exceto no dia 8, os fatores climáticos atuaram integradamente para as taxas de evaporação observadas. Analisando-se os dados da Tabela 4.1, verifica-se que no mês de novembro em Boqueirão, a evaporação do tanque Classe A superou a evaporação do tanque padrão em  $25,1\%$ .

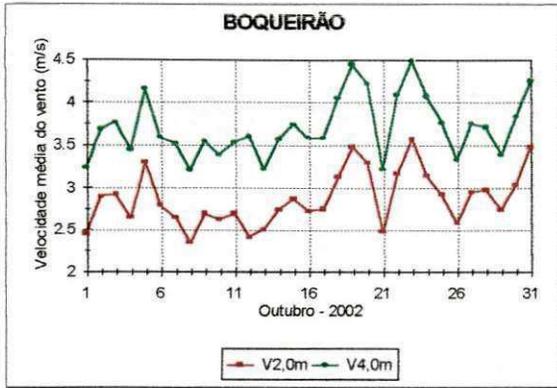
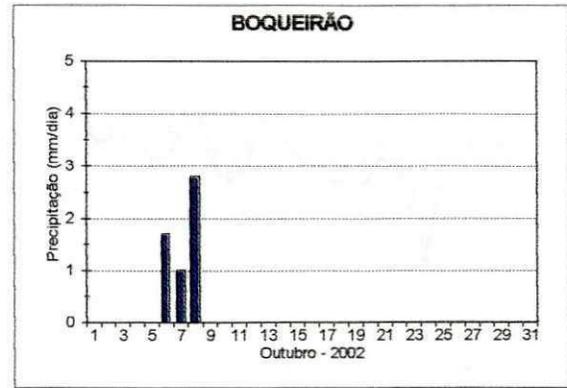


Figura 4.103. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante outubro de 2002, em Boqueirão.



4.104. Precipitação observada durante outubro de 2002, em Boqueirão.

Na Figura 4.105, é apresentada a evaporação dos tanques evaporimétricos durante o mês de outubro em Patos. Observa-se que houve aumento significativo das taxas de evaporação de todos os tanques, bem como, continuou havendo uma diferença significativa entre a evaporação do tanque Classe A e dos demais tanques evaporimétricos no decorrer desse mês. Em relação ao padrão, essa diferença foi em média de 2,43mm/dia. Esse aumento, certamente está associado ao aumento da temperatura do ar e da água dos tanques, a diminuição da umidade do ar, a maior incidência de radiação solar e a atuação do vento. No entanto, devido a problemas no sistema automático de aquisição de dados, não foi possível observar o comportamento desses parâmetros em Patos durante esse mês. Na Tabela 4.1, verifica-se que a evaporação registrada no tanque Classe A superou a evaporação do tanque padrão em 27,5%. A evaporação neste mês de outubro em Patos, foi a maior observada entre todos os meses estudados, atingindo 274,1 mm/mês no tanque padrão. Como indica a Figura 4.106, a ocorrência de precipitação apenas no dia 8 durante esse mês, foi muito pouco significativa, no entanto, associada a presença de nebulosidade, que afetou os demais parâmetros, contribuiu para reduzir a evaporação em todos os tanques nesse dia.

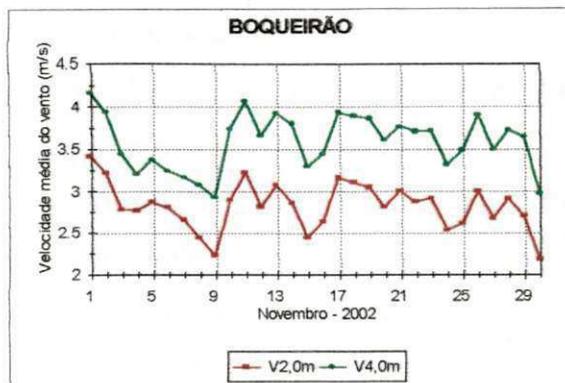


Figura 4.113. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante novembro de 2002, em Boqueirão.

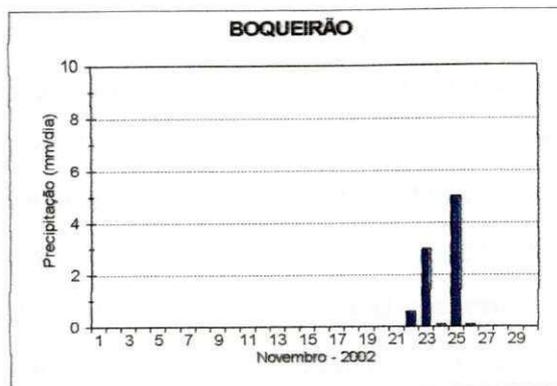


Figura 4.114. Precipitação observada durante o mês de novembro de 2002, em Boqueirão.

A evaporação dos tanques evaporimétricos no mês de novembro em Patos, é apresentada na Figura 4.115. Observa-se que a evaporação aumentou gradativamente do dia 1 ao dia 15, depois diminuindo até o dia 25, quando voltou a aumentar novamente até o dia 29. Durante o mês de novembro, a evaporação continuou elevada (251,1 mm/mês no tanque padrão) e esteve associada aos baixos índices de umidade relativa do ar (Figura 4.119), as altas temperaturas do ar e da água dos tanques (Figura 4.116), a alta incidência de radiação solar (Figura 4.120) e a forte atuação do vento (Figura 4.121). Novembro foi o mês do período estudado que teve o segundo maior índice de evaporação mensal. Na Figura 4.117 é mostrado o aquecimento diurno da temperatura do ar e da água dos tanques evaporimétricos, durante o mês de novembro em Patos. Observa-se que durante o período diurno, a temperatura do ar, em média, superou a temperatura da água dos tanques padrão, T1,0m, T0,5m e TCA, em 2,6; 3,5; 3,4 e 2,3°C, respectivamente. Já no período noturno (Figura 4.118), enquanto os tanques padrão, T1,0m e T0,5m estiveram mais aquecidos do que o ar 1,8; 0,7 e 0,2°C, respectivamente, o TCA teve temperatura média de 2,6°C menor do que o ar. Analisando-se as Figuras 4.116, 4.117 e 4.118 nota-se que, embora o tanque padrão durante o dia, tenha tido aquecimento bem menor do que o ar, durante a noite, foi o que mais conservou energia, conseqüentemente, continuou a evaporar. No entanto, quando se faz simplesmente a média diária, este apresenta comportamento térmico muito próximo ao do ar. Observando ainda a Figura 4.115, verifica-se que devido às condições amenas de umidade e temperatura do ar, radiação solar e velocidade do vento, houve redução das taxas de evaporação em alguns

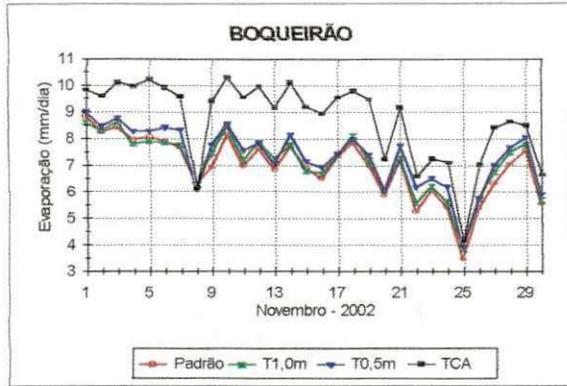


Figura 4.107. Evolução da evaporação diária durante novembro de 2002, em Boqueirão.

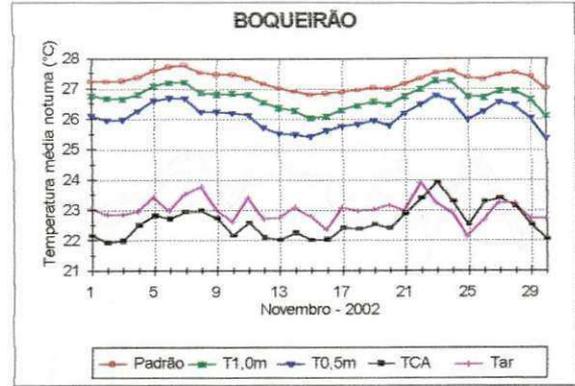


Figura 4.110. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante novembro de 2002, em Boqueirão.

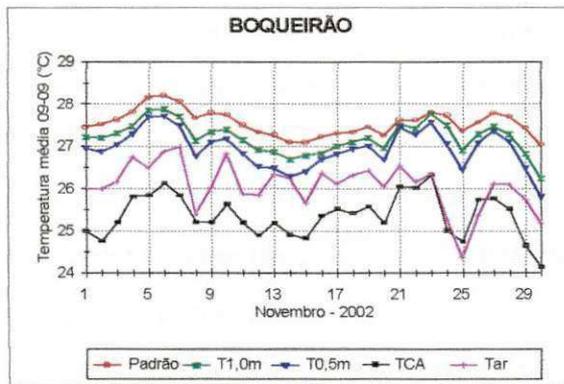


Figura 4.108. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, durante novembro de 2002, em Boqueirão.

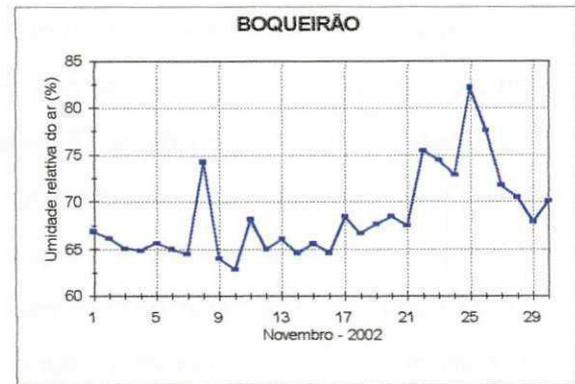


Figura 4.111. Evolução da umidade relativa do ar média diária durante novembro de 2002, em Boqueirão.

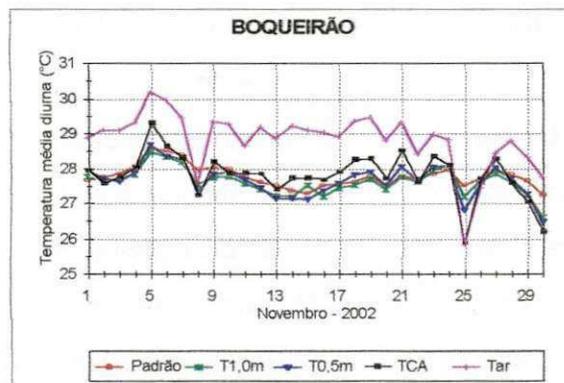


Figura 4.109. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, durante novembro de 2002, em Boqueirão.

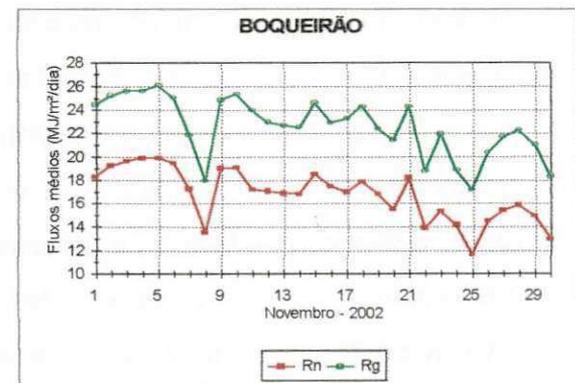


Figura 4.112. Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante novembro de 2002, em Boqueirão.

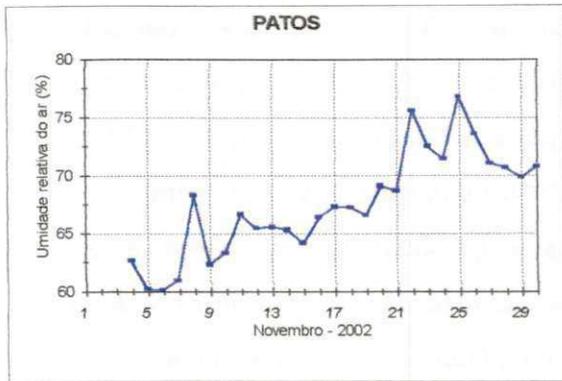


Figura 4.119. Evolução da umidade relativa do ar média diária durante novembro de 2002, em Patos.

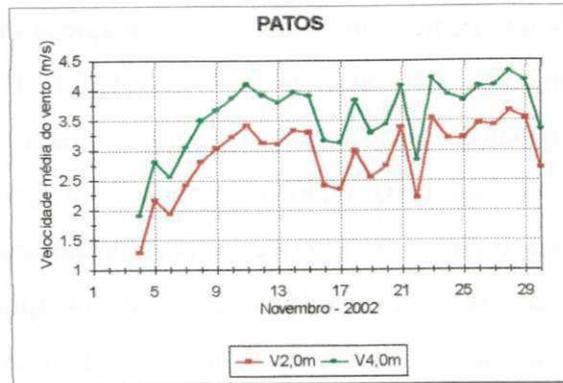


Figura 121. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante novembro de 2002, em Patos.

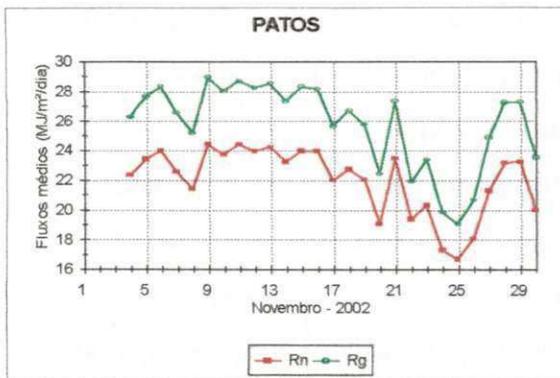


Figura 4.120. Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante novembro de 2002, em Patos.

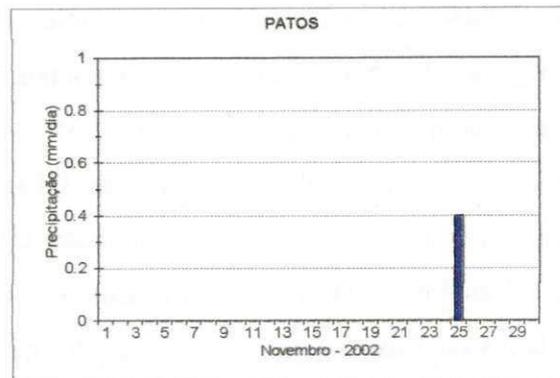


Figura 4.122. Precipitação observada durante novembro de 2002, em Patos.

#### 4.1.9 – Evaporação dezembro - 2002

A evaporação durante o mês de dezembro em Boqueirão é apresentada na Figura 4.123. Observa-se que do dia 1 até o dia 12, houve uma razoável diferença entre a evaporação do tanque Classe A e a dos demais tanques, bem como, entre esses. Essas diferenças a exemplo do que ocorreu em novembro, estão também associadas às condições de baixa umidade relativa do ar (Figura 4.127), temperatura do ar elevada (Figura 4.124), maior incidência de radiação solar (Figura 4.128) e maior atuação do vento (Figura 4.129), que mais uma vez, contribuíram para uma maior transferência de vapor d'água para a atmosfera,

dias no decorrer desse mês, que culminou em especial com pequena precipitação no dia 25 (Figura 4.122). Na Tabela 4.1 verifica-se que a taxa de evaporação do tanque Classe A durante o mês de novembro em Patos, foi superior 31,9% em relação ao tanque padrão. Esse percentual indica que em novembro, a diferença entre a evaporação do tanque Classe A e o padrão, foi a maior em todos os meses estudados até aqui. Particularmente, dois fatores contribuíram para esta situação: a maior incidência de radiação solar (774,6 MJ/m<sup>2</sup>/mês); e o aumento da velocidade do vento (2,9 m/s), ambos, foram os maiores valores mensais observados desses parâmetros.

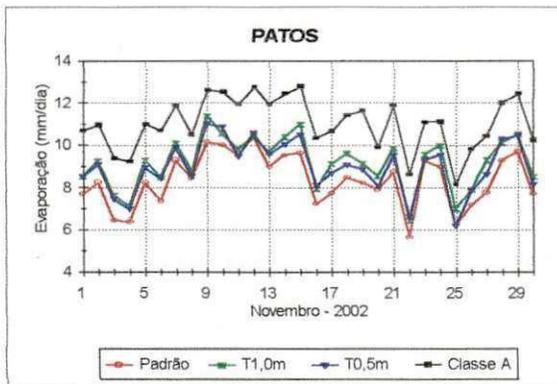


Figura 4.115. Evolução da evaporação diária durante novembro de 2002, em Patos.

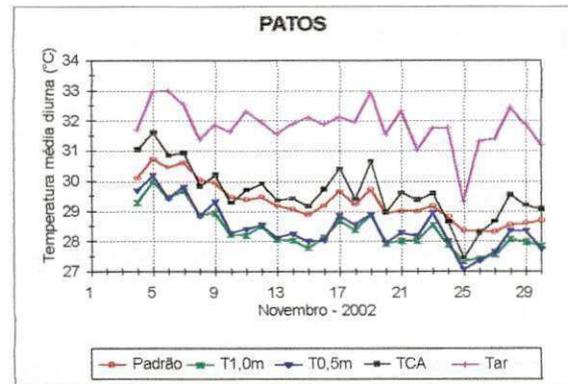


Figura 4.117. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, durante novembro de 2002, em Patos.

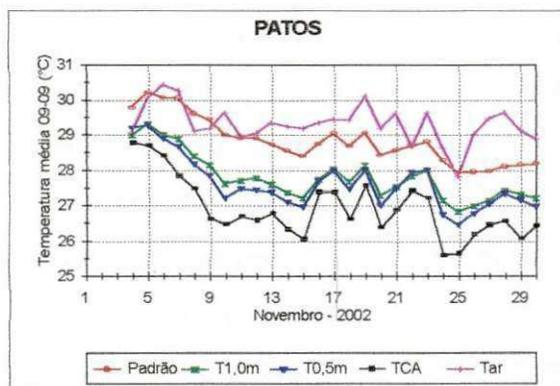


Figura 4.116. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, durante novembro de 2002, em Patos.

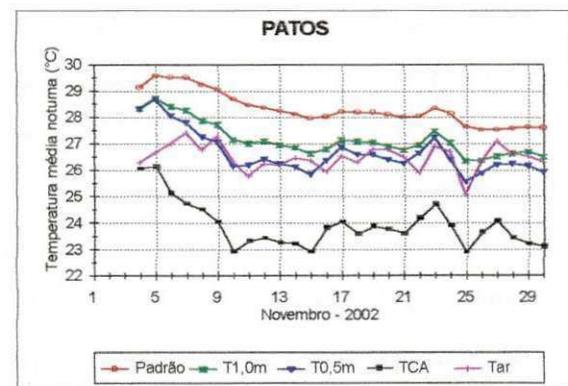


Figura 4.118. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante novembro de 2002, em Patos.

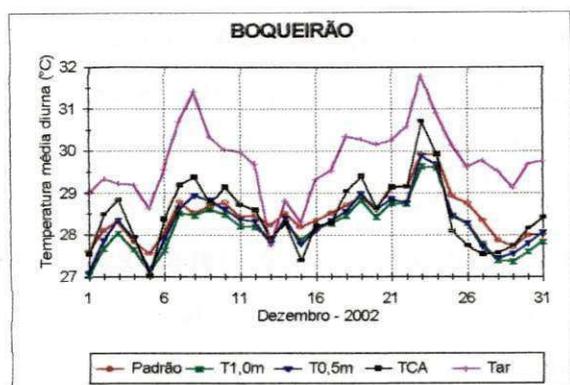


Figura 4.125. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, durante dezembro de 2002, em Boqueirão.

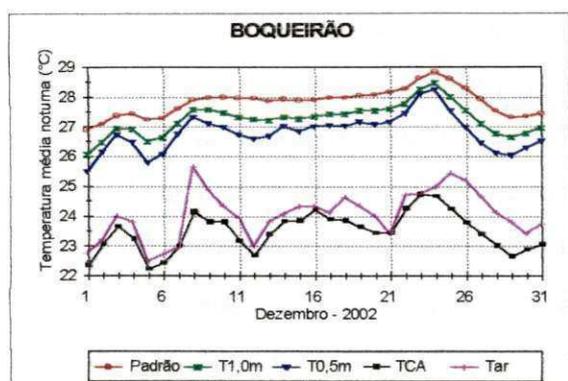


Figura 4.126. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante dezembro de 2002, em Boqueirão.

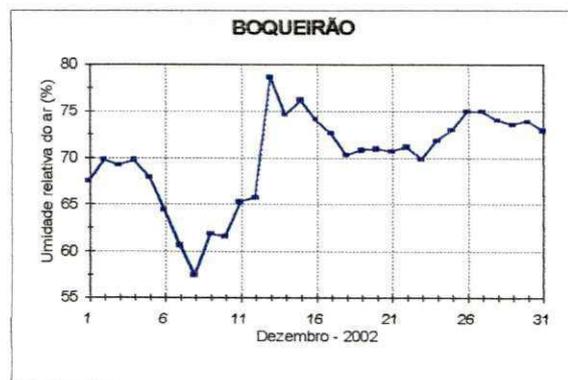


Figura 4.127. Evolução da umidade relativa do ar média diária durante dezembro de 2002, em Boqueirão.

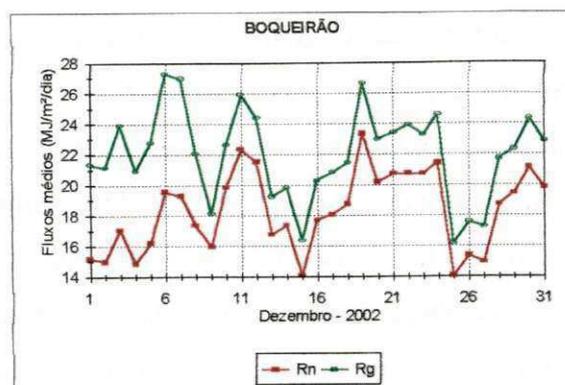


Figura 4.128. Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante dezembro de 2002, em Boqueirão.

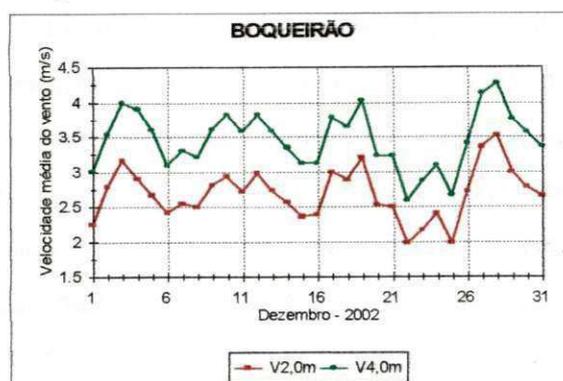


Figura 4.129. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante dezembro de 2002, em Boqueirão.



Figura 4.130. Precipitação observada durante dezembro de 2002, em Boqueirão.

principalmente nos tanques de pequena profundidade (TCA e T0,5m). Analisando simultaneamente as Figuras 4.123, 4.124, 4.127, 4.128 e 4.129, constata-se que, a maior contribuição para a diferença entre as taxas de evaporação dos tanques padrão, T1,0m e T0,5m, foi a baixa umidade relativa do ar, pois, a partir do momento que houve aumento da umidade do ar, as taxas de evaporação desses tanques se aproximaram. Observa-se também que do dia 13 ao dia 16, houve redução significativa das taxas de evaporação de todos os tanques, devido a alta umidade do ar, diminuição da temperatura do ar, baixa incidência de radiação solar, e a menor velocidade do vento. Essas mesmas condições, porém com alguns parâmetros atuando mais que outros, contribuíram para redução na evaporação observada entre 21 e 27. Ao longo do mês, observa-se que ocorreram precipitações pequenas (Figura 4.130), totalizando 2,6mm. A evolução das temperaturas do ar e da água dos tanques evaporimétricos, nos períodos diurno e noturno no decorrer do mês de dezembro, apresentada nas Figuras 4.125 e 4.126, respectivamente, mostra que durante o dia, o ar esteve mais aquecido do que os tanques: em média  $1,3^{\circ}\text{C}$  em relação aos tanques padrão e TCA;  $1,6^{\circ}\text{C}$  em relação ao T1,0m; e  $1,5^{\circ}\text{C}$  em relação ao T0,5m. No entanto, no período noturno, enquanto os tanques padrão, T1,0m e T0,5m permaneceram mais aquecidos do que o ar,  $3,8$ ,  $3,2$ , e  $2,7^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, o TCA teve temperatura  $0,6^{\circ}\text{C}$  menor que o ar. Verifica-se na Figura 4.123 e nos dados da Tabela 4.1, que ao longo do mês, a evaporação do tanque Classe A superou a evaporação do tanque padrão em 24,7%.

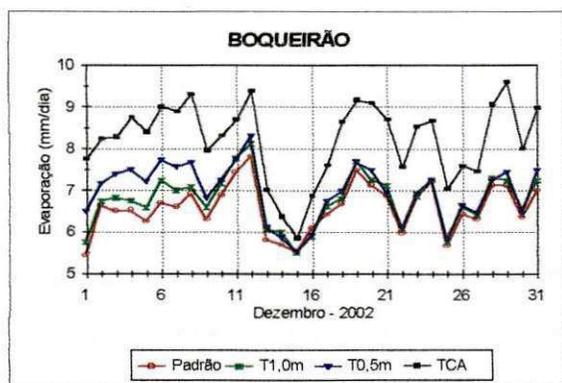


Figura 4.123. Evolução da evaporação diária durante dezembro de 2002, em Boqueirão.

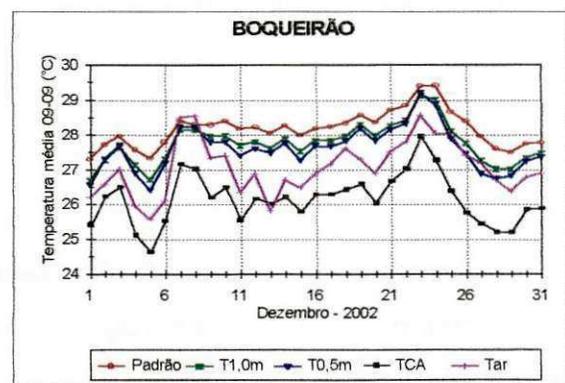


Figura 4.124. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, durante dezembro de 2002, em Boqueirão.

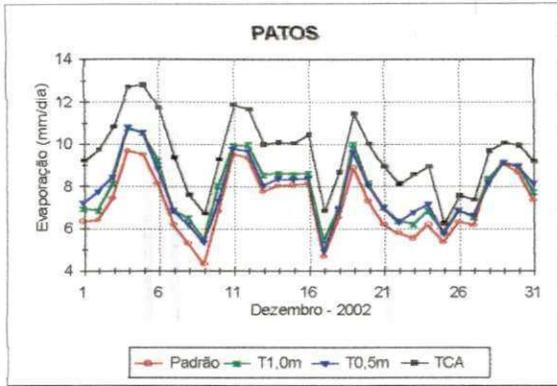


Figura 4.131. Evolução da evaporação diária durante dezembro de 2002, em Patos.

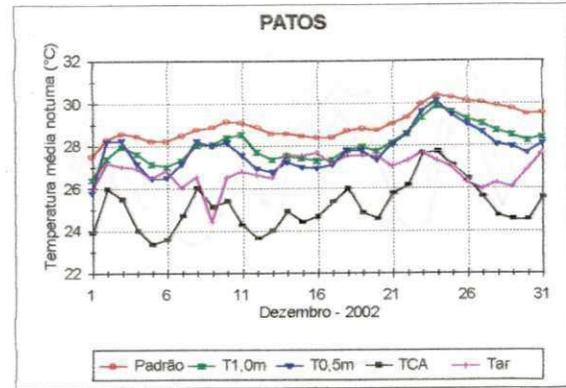


Figura 4.134. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante dezembro de 2002, em Patos.

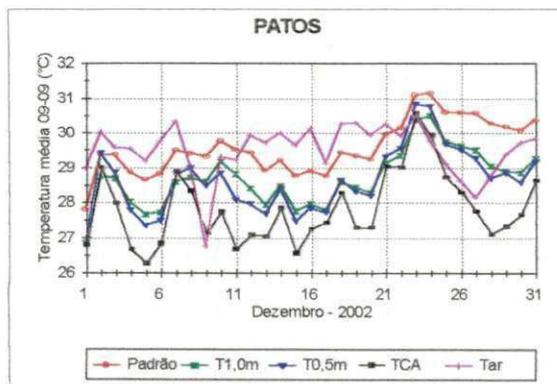


Figura 4.132. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, durante dezembro de 2002, em Patos.

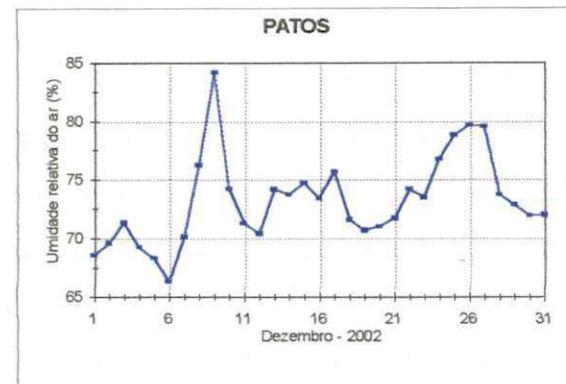


Figura 4.135. Evolução da umidade relativa do ar média diária durante dezembro de 2002, em Patos.

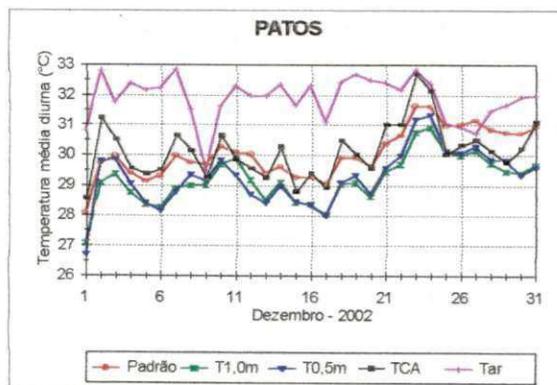


Figura 4.133. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, durante dezembro de 2002, em Patos.

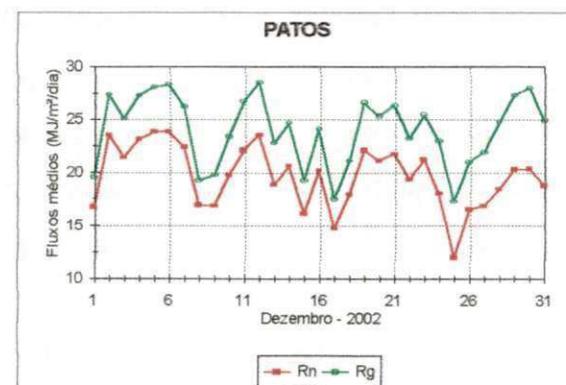


Figura 4.136. Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante dezembro de 2002, em Patos.

De acordo com a Figura 4.131, que apresenta a evaporação durante o mês de dezembro em Patos, verifica-se que no decorrer desse mês, houve redução das taxas de evaporação em todos os tanques evaporimétricos. Isso ocorreu, devido ao aumento da umidade relativa do ar (Figura 4.135), diminuição da temperatura do ar (Figura 4.132), redução dos fluxos de radiação solar (Figura 4.136) e menor velocidade do vento (Figura 4.137). Também, houve ocorrência de precipitação (Figura 4.138), cujo total foi de 35,9 mm/mês e representa um índice superior a média mensal. Analisando simultaneamente as Figuras 4.131, 4.133, 4.135, 4.136 e 4.137, observa-se que os maiores valores de evaporação ocorreram nos dias 4, 5, 6, 11, 12 e 19, dias em que foram observados baixa umidade do ar, elevadas temperaturas do ar, alta incidência de radiação solar e forte atuação de vento. A evolução diurna da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar durante o mês de dezembro em Patos, apresentada na Figura 4.133, indica que do dia 1 ao dia 22, o ar esteve mais aquecido do que os tanques evaporimétricos, e a partir desta data, passou a ter menor aquecimento, em função da ocorrência de precipitações. Em média, ao longo do mês, esse aquecimento foi de 1,8°C em relação aos tanques padrão e TCA, 2,7°C em relação ao T1,0m, e 2,6°C em relação ao T0,5m. Já para o período noturno (Figura 4.134), observa-se que os tanques padrão, T1,0m e T0,5m estiveram mais aquecidos do que o ar em média 2,1; 1,2; e 0,9°C, e o Classe A, em relação aos meses anteriores, teve um resfriamento menor, esteve apenas 1,7°C menos aquecido do que o ar. Com base na Tabela 4.1, constata-se que a evaporação do tanque Classe A no mês de dezembro em Patos, continuou sendo superior a evaporação observada no tanques padrão, em média, 32,1%. A diferença entre a evaporação do tanque Classe A e o tanque padrão em dezembro, foi a maior de todos os onze meses estudados. Essa situação em particular, esteve diretamente associada ao aumento da temperatura do ar durante o mês de dezembro.

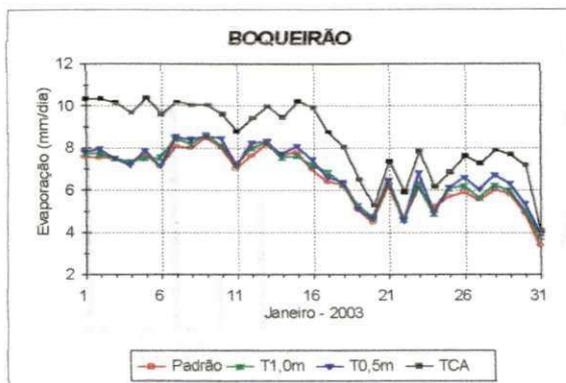


Figura 4.139. Evolução da evaporação diária durante janeiro de 2003, em Boqueirão.

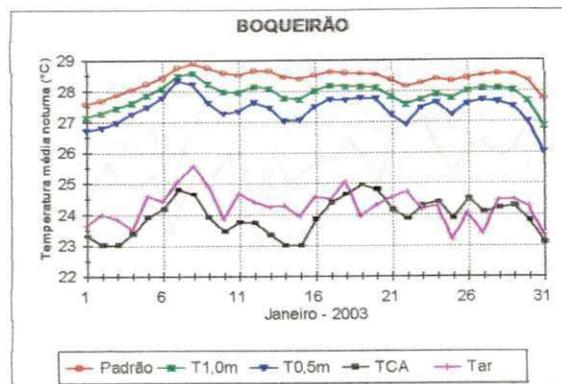


Figura 4.142. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante janeiro de 2003, em Boqueirão.

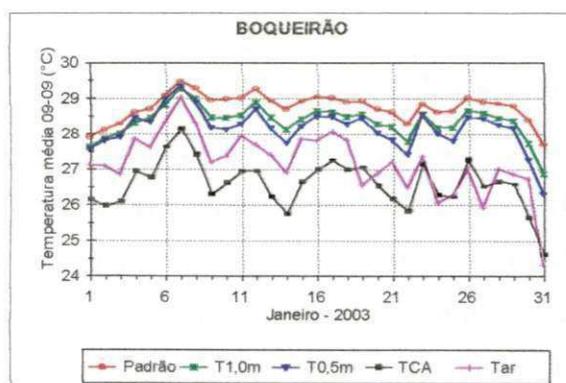


Figura 4.140. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, durante janeiro de 2003, em Boqueirão.

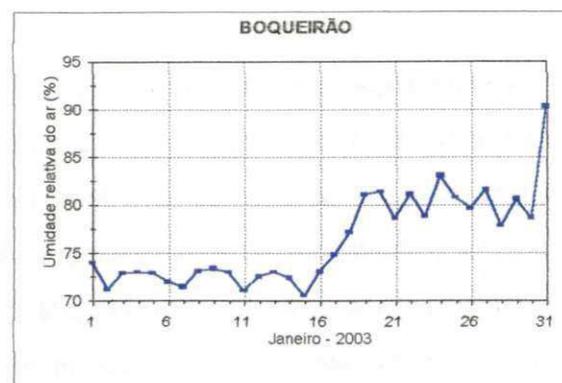


Figura 4.143. Evolução da umidade relativa do ar média diária durante janeiro de 2003, em Boqueirão.

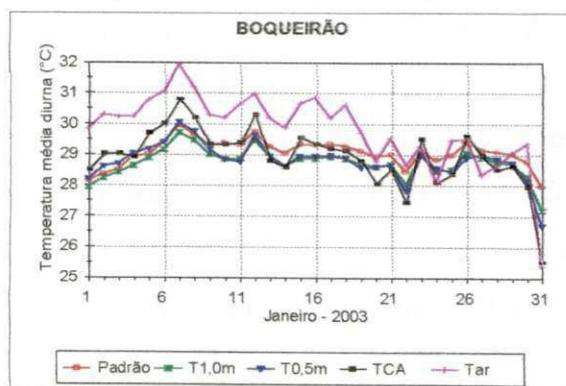


Figura 4.141. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, durante janeiro de 2003, em Boqueirão.

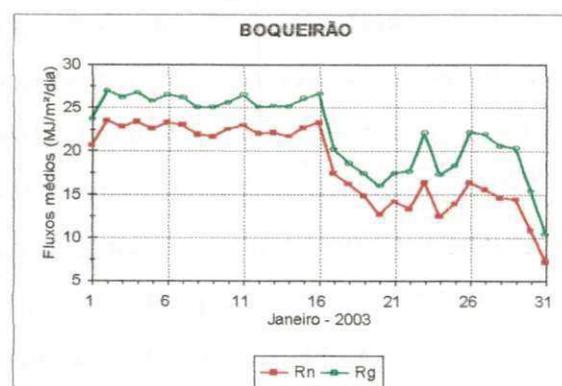


Figura 4.144. Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante janeiro de 2003, em Boqueirão.

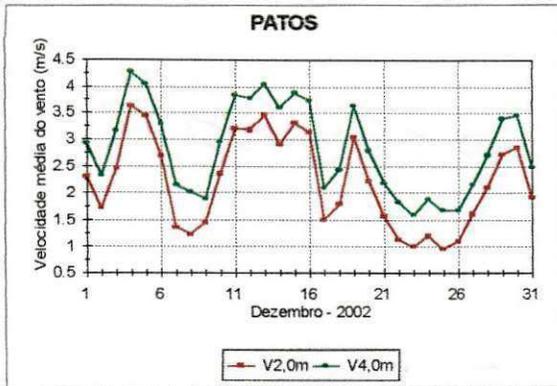


Figura 4.137. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante dezembro de 2002, em Patos.

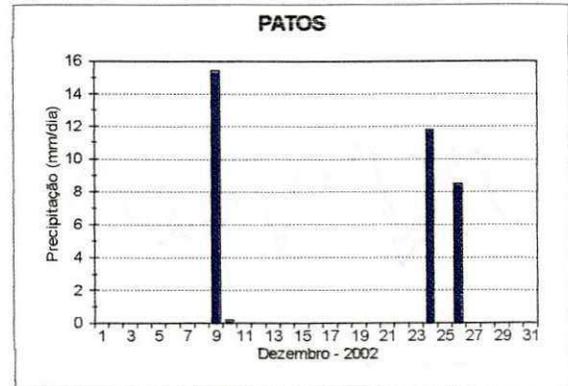


Figura 4.138. Precipitação observada durante dezembro de 2002, em Patos.

#### 4.1.10 – Evaporação janeiro – 2003

Na Figura 4.139 é apresentada a evaporação durante o mês de janeiro de 2003 em Boqueirão. Observa-se que do dia 1 ao dia 16, foram observados os maiores valores de evaporação, que estão associados a baixa umidade relativa do ar (Figura 4.143), temperatura do ar elevada (Figura 4.140), maior incidência de radiação solar (Figura 4.144), e maior atuação do vento (Figura 4.145) nesse período. No entanto, a partir dessa data até o final desse mês, houve uma diminuição da evaporação em todos os tanques evaporimétricos. Isso devido ao aumento da umidade do ar, diminuição da temperatura do ar e da incidência dos raios solares e menor atuação do vento, culminado com ocorrência de precipitação nesse período (Figura 4.146), que totalizou 30,3mm/mês. Analisando o comportamento da temperatura do ar e da água dos tanques evaporimétricos no período diurno (Figura 4.141), nota-se que o ar esteve relativamente mais aquecido do que a água dos tanques até o dia 18, e a partir daí, passou a ter aquecimento semelhante ao dos tanques. Em média ao longo do mês, o ar esteve mais aquecido  $0,7^{\circ}\text{C}$  em relação ao tanque padrão;  $1,0^{\circ}\text{C}$  em relação aos tanques T1,0m e T0,5m; e  $0,9^{\circ}\text{C}$  em relação ao TCA. Já no período noturno (Figura 4.142), a exemplo dos meses anteriores, os tanques padrão, T1,0m e T0,5m foram mais aquecidos que o ar em média,  $4,1$ ,  $3,6$ , e  $3,1^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, enquanto o TCA teve temperatura  $0,4^{\circ}\text{C}$  menor que o ar. Observa-se na Figura 4.139 bem como na Tabela 4.1, que ao longo do mês de janeiro de 2003 em Boqueirão, a evaporação diária do tanque Classe A foi superior a do tanque padrão em média, 28,1%.

ocorrência de precipitação. Em termos de média noturna, os tanques padrão, T1,0m, T0,5m e TCA estiveram mais aquecidos do que o ar 4,1, 3,0, 2,8 e 0,1°C, respectivamente. Analisando a Figura 4.147 e a Tabela 4.1, observa-se que ao longo do mês, o TCA teve evaporação média diária superior 29,2% em relação ao tanque padrão.

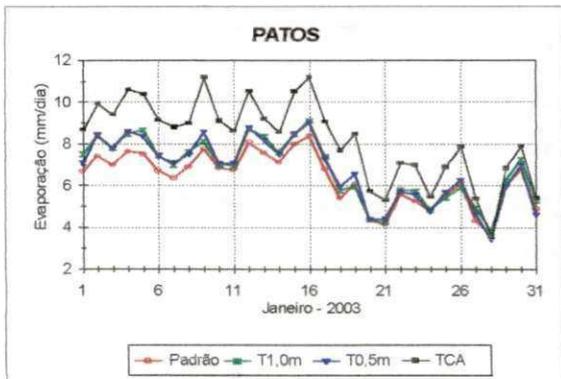


Figura 4.147. Evolução da evaporação diária durante janeiro de 2003, em Patos.

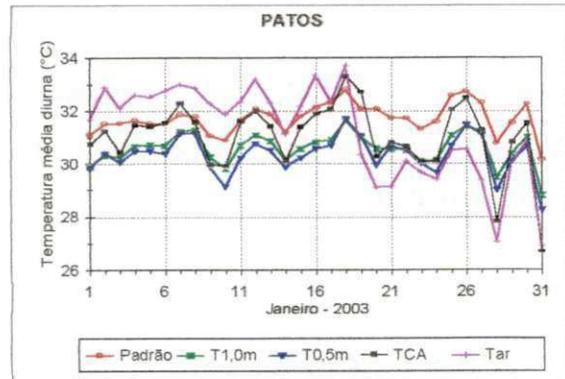


Figura 4.149. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, durante janeiro de 2003, em Patos.

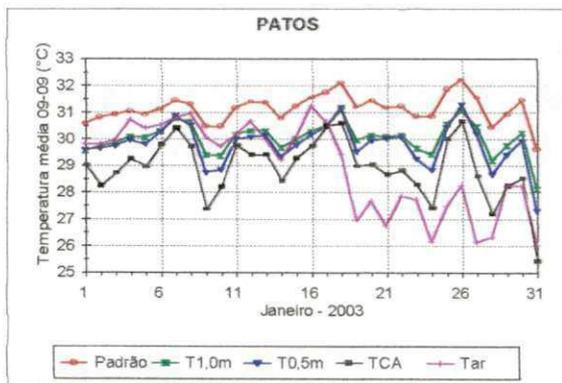


Figura 4.148. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, durante janeiro de 2003, em Patos.

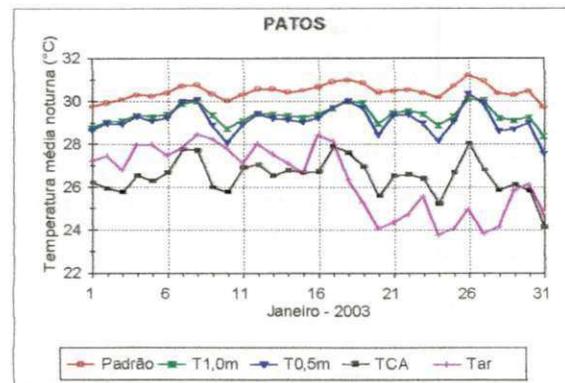


Figura 4.150. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante janeiro de 2003, em Patos.

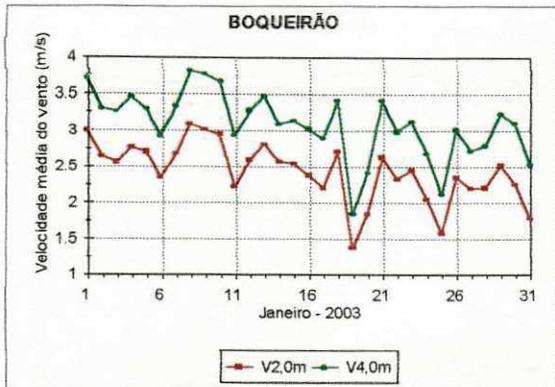


Figura 4.145. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante janeiro de 2003, em Boqueirão.

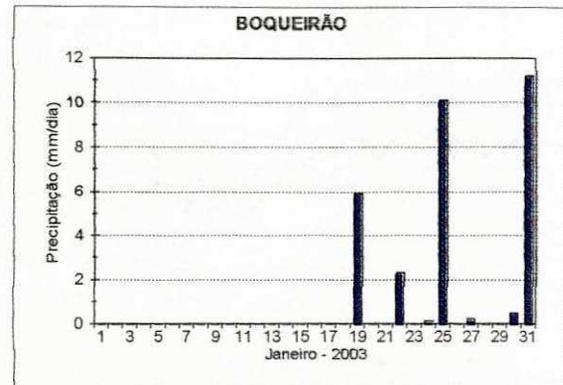


Figura 4.146. Precipitação observada durante janeiro de 2003, em Boqueirão.

A evaporação durante o mês de janeiro de 2003 em Patos é apresentada na Figura 4.147. Observa-se que a exemplo do que aconteceu em Boqueirão nesse mês, a evaporação foi também elevada do dia 1 ao dia 16, devido às condições de baixa umidade do ar (Figura 4.151), elevadas temperaturas do ar (Figura 4.148), maior incidência de radiação solar (Figura 4.152) e maior velocidade do vento (Figura 4.153); e teve uma diminuição significativa a partir do final desse período, que foi acompanhado por um aumento expressivo da umidade relativa do ar, diminuição da temperatura do ar e dos fluxos de radiação solar, bem como, da velocidade do vento. A partir do dia 19 houve uma acentuada ocorrência de precipitação (Figura 4.154) que totalizou 162,3 mm/mês, o que representa cerca de 2,5 vezes o índice médio de precipitação para o mês de janeiro em Patos. Por outro lado, observa-se que nesse mês em Patos, o aquecimento da temperatura do ar em relação a água dos tanques evaporimétricos, no período diurno (Figura 4.149), foi bem menor do que no mês anterior. Ou seja, o ar teve em média, uma temperatura de 0,4°C menor que o tanque padrão. No entanto, este por armazenar mais energia, sua temperatura em relação aos tanques T1,0m e T0,5m, foi superior cerca de 0,7 e 0,9°C, respectivamente, e ao TCA, 0,3°C. No período noturno (Figura 4.150), observa-se que do dia 1 ao dia 17, a diferença entre a temperatura do ar e dos tanques padrão, T1,0m e T0,5m foi relativamente pequena, aumentando significativamente a partir do final desse período. Já em relação ao TCA, até o dia 17, o ar esteve mais aquecido, porém, a partir do dia 18 houve uma inversão. Ou seja, essa mudança acentuada do comportamento da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar depois do dia 18, esteve associada a

entanto, no período de 9 a 19, como a umidade do ar esteve relativamente baixa e a temperatura do ar elevada, houve uma diferença maior entre a evaporação do tanque Classe A e a dos demais tanques. Também, nesse período, o tanque T0,5m apresentou uma diferença em relação ao padrão e ao T1,0m quase constante. As condições climáticas observadas nos períodos de 1 e 9 e de 19 a 28, resultaram da ocorrência de precipitação (Figura 4.162) que totalizou 41,0 mm/mês. Analisando a Figura 4.157, observa-se que nesse mês, durante o período diurno, o ar teve em média, temperatura  $0,6^{\circ}\text{C}$  menor do que o tanque padrão, e temperatura igual a do T1,0m, porém, foi  $0,1^{\circ}\text{C}$  maior do que as temperaturas dos tanques T0,5m e TCA. No período noturno (Figura 4.158), houve menor aquecimento do ar, em média foi menor  $4,4$ ,  $3,8$ ,  $3,4$  e  $0,1^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, que os tanques padrão, T1,0m, T0,5m e TCA. Nota-se também na Figura 4.158, que houve resfriamento acentuado do tanque Classe A em relação aos outros tanques. Observa-se na Figura 4.155, que embora tenha ocorrido precipitações ao longo do mês de fevereiro de 2003 em Boqueirão, e com isso amenizado de uma certa forma o aquecimento do tanque Classe A no período diurno, sua média diária de evaporação, de acordo com a Tabela 4.1 foi superior 24,3% em relação ao tanque padrão.

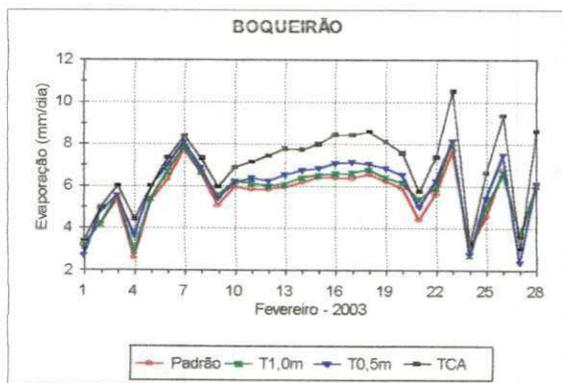


Figura 4.155. Evolução da evaporação diária durante fevereiro de 2003, em Boqueirão.

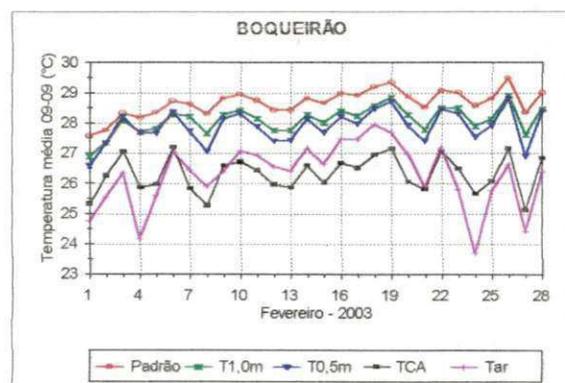


Figura 4.156. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, durante fevereiro de 2003, em Boqueirão.

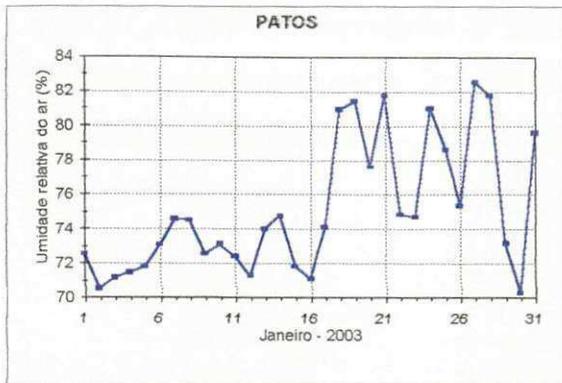


Figura 4.151. Evolução da umidade relativa do ar média diária durante janeiro de 2003, em Patos.

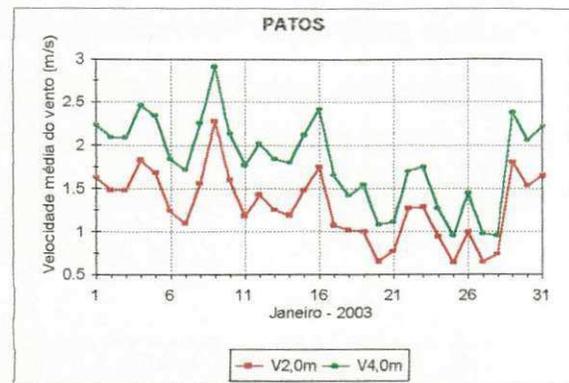


Figura 4.153. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante janeiro de 2003, em Patos.

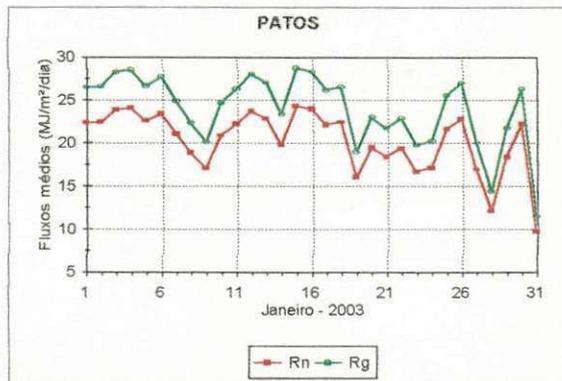


Figura 4.152. Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante janeiro de 2003, em Patos.

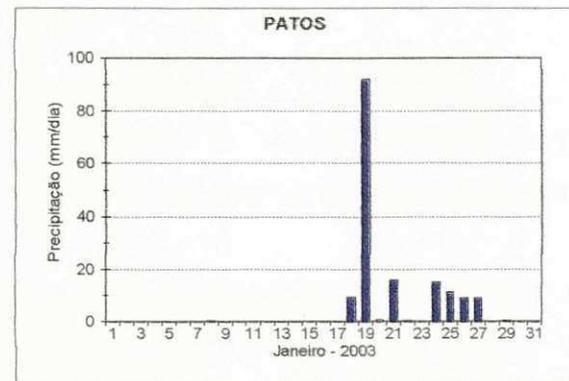


Figura 4.154. Precipitação observada durante janeiro de 2003, em Patos.

#### 4.1.11 – Evaporação fevereiro – 2003

Na Figura 4.155 é apresentada a evaporação durante o mês de fevereiro de 2003 em Boqueirão. Observa-se que do dia 1 ao dia 9, as evaporações de todos os tanques evaporimétricos foram muito próximas. Isso ocorreu devido às condições de alta umidade relativa do ar (Figura 4.159), baixa temperatura do ar (Figura 4.156), menor incidência de radiação solar (Figura 4.160) e menor atuação de vento (Figura 4.161). Essas condições prevaleceu desde o dia 19 de janeiro de 2003. Verifica-se também, que a partir do dia 19 de fevereiro, em alguns dias, condições climáticas semelhantes também foram observadas. No

Na Figura 4.163 é apresentada a evaporação durante o mês de fevereiro de 2003 em Patos. Observa-se que ao longo desse mês, também houve redução das taxas de evaporação em todos os tanques evaporimétricos. Isso ocorreu, devido ao aumento da umidade relativa do ar (Figura 4.167), diminuição da temperatura do ar (Figura 4.164) e da incidência dos raios solares (Figura 4.168), bem como, em função da menor velocidade do vento (Figura 4.169). As ocorrências de precipitação em 11 dias (Figura 4.170), totalizou 116,9 mm/mês. Verifica-se ainda, que apesar dessas condições mencionadas, a diferença entre a evaporação do tanque Classe A e o tanque padrão foi em média, 1,59 mm/dia. Analisando o comportamento da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar nos períodos diurno (Figura 4.165) e noturno (Figura 4.166), constata-se que neste mês de fevereiro em Patos, a temperatura do ar durante o dia, foi bem menor do que no mês de janeiro, ou seja, o ar esteve menos aquecido 1,3; 0,5; 0,1 e 0,4°C, respectivamente, do que os tanques padrão; T1,0m; T0,5m e TCA. No período noturno, nota-se também que em relação aos valores observados em janeiro, houve um maior resfriamento do ar. Em média a temperatura do ar foi menor 4,6; 3,4; 3,2; e 0,6°C, respectivamente, do que os tanques padrão; T1,0m; T0,5m e TCA. Esse resfriamento do ar observado desde o final da janeiro, foi devido ao início do período chuvoso na região, fato comum em alguns anos. Observa-se ainda, que da mesma forma como aconteceu em todos os meses estudados, a temperatura da água do tanque Classe A no período noturno, foi bem menor que nos outros tanques. Desta forma, verifica-se que em tanques enterrados e mais profundos, a exemplo do que acontece em açudes, mesmo a noite, pode ocorrer evaporação. Em termos de média diária, observa-se na Tabela 4.1, que a evaporação do tanque Classe A superou em 26,6% a evaporação do tanque padrão.

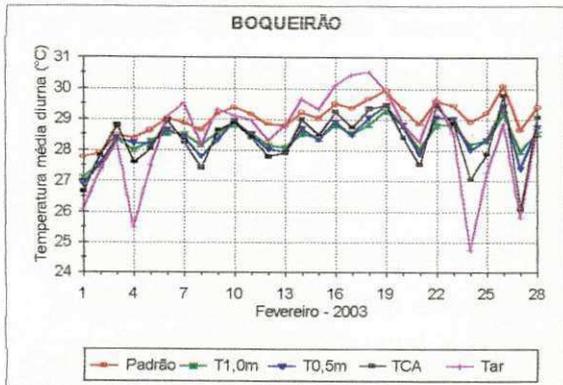


Figura 4.157. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, durante fevereiro de 2003, em Boqueirão.

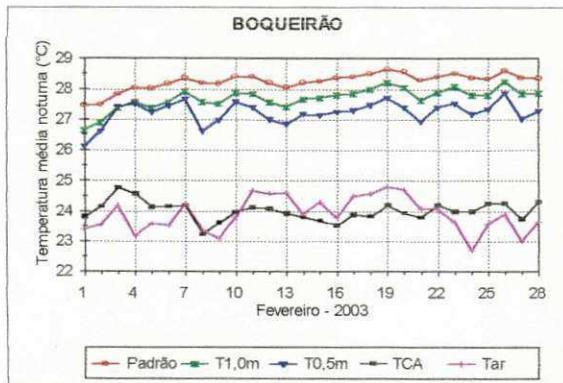


Figura 4.158. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante fevereiro de 2003, em Boqueirão.

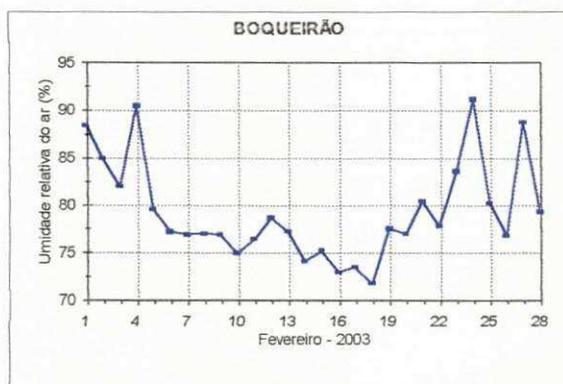


Figura 4.159. Evolução da umidade relativa do ar média diária durante fevereiro de 2003, em Boqueirão.

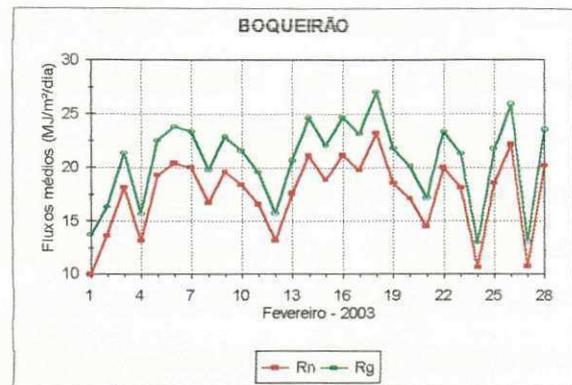


Figura 4.160. Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante fevereiro de 2003, em Boqueirão.

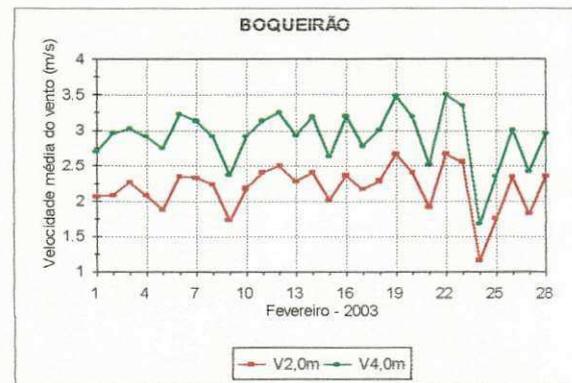


Figura 4.161. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante fevereiro de 2003, em Boqueirão.

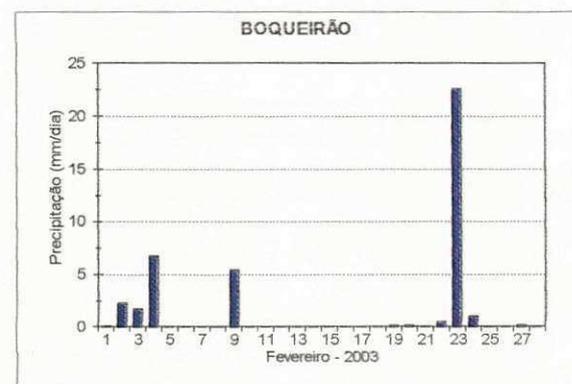


Figura 4.162. Precipitação observada durante fevereiro de 2003, em Boqueirão.

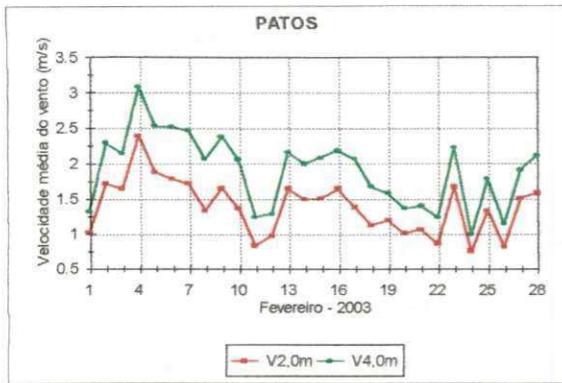


Figura 4.169. Evolução da velocidade média diária do vento a 2 e 4m acima da superfície do solo, durante fevereiro de 2003, em Patos.

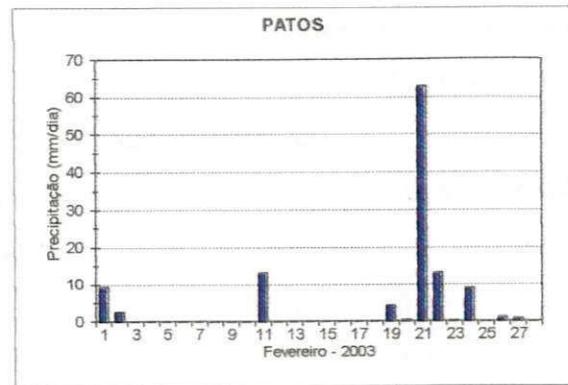


Figura 4.170. Precipitação observada durante fevereiro de 2003, em Patos.

Ao final das análises mensais da evaporação para as duas áreas estudadas, constata-se que em Boqueirão, o mês que apresentou maior índice de evaporação do tanque Classe A em relação ao padrão, foi o mês de setembro, 31,1%, já em Patos, foi o mês de dezembro, 32,1%. Analisando a evaporação média diária para cada mês em Boqueirão e Patos apresentada na Tabela 4.1, percebe-se que em termos de médias diárias, os menores índices de evaporação em Boqueirão foram registrados nos meses de maio, junho e julho, que coincide com o período mais frio e úmido, enquanto em Patos, os meses que apresentaram menores índices diários de evaporação foram abril, maio e junho, igualmente mais frios e úmidos. Em termos de índices médios diários, observa-se ainda na Tabela 4.1, que em Boqueirão as maiores taxas ocorreram no período de setembro a dezembro, no entanto, em Patos, a partir de agosto essas taxas já se mostravam elevadas. Percebe-se ainda que em Boqueirão, o mês de novembro foi o que apresentou as maiores taxas, enquanto em Patos foi o mês de outubro. O único mês em que as taxas de evaporação apresentaram-se em Patos e Boqueirão praticamente iguais, foi abril, porém, esse deveria ser um mês chuvoso em Boqueirão, como geralmente acontece, e não ocorreu em 2002, choveu apenas 2,0 mm durante todo o mês, em Patos, o total de precipitação no mês chegou a 75,2 mm. Por sinal, durante o mês de abril houve chuvas em 13 dias. Estas condições climáticas observadas nos dois locais, favoreceram a aproximação das taxas de evaporação.

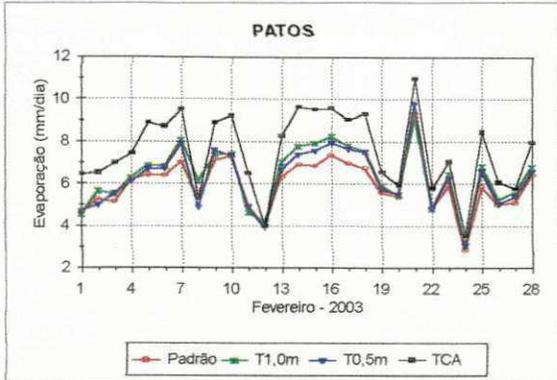


Figura 4.163. Evolução da evaporação diária durante fevereiro de 2003, em Patos.

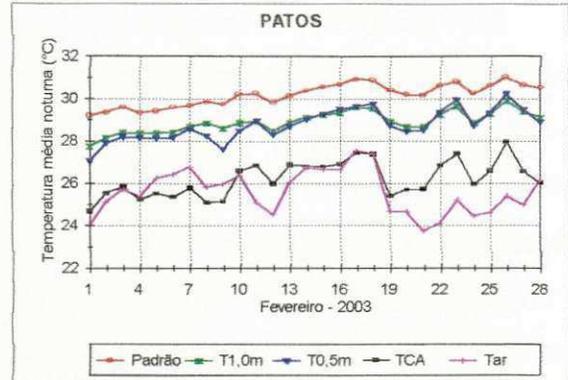


Figura 4.166. Evolução da temperatura média noturna da água dos tanques e do ar, durante fevereiro de 2003, em Patos.

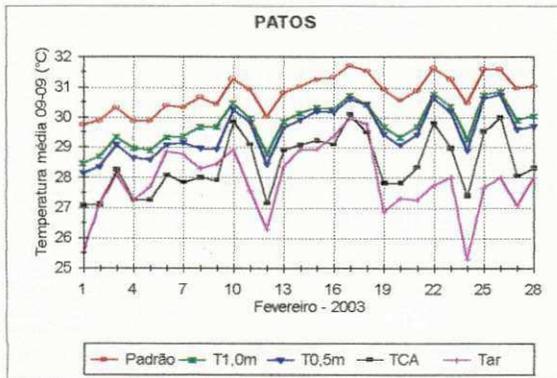


Figura 4.164. Evolução diária da temperatura da água dos tanques e do ar, durante fevereiro de 2003, em Patos.

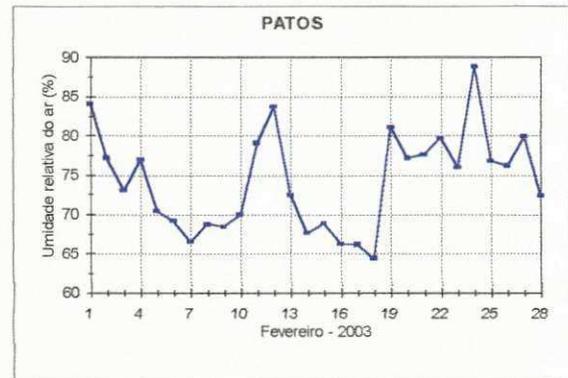


Figura 4.167. Evolução da umidade relativa do ar média diária durante fevereiro de 2003, em Patos.

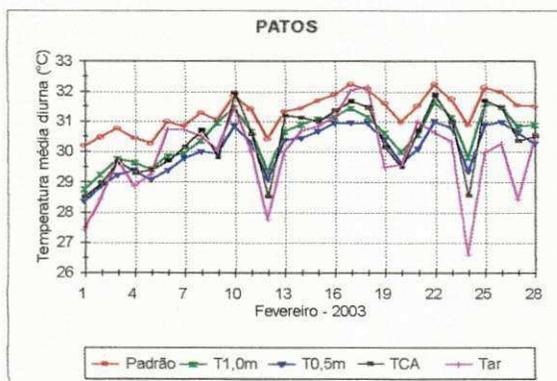


Figura 4.165. Evolução da temperatura média diurna da água dos tanques e do ar, durante fevereiro de 2003, em Patos.

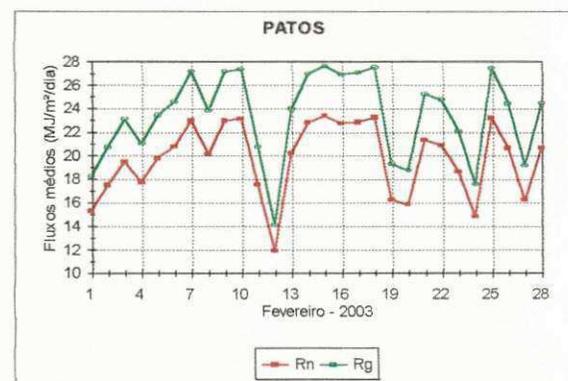


Figura 4.168. Evolução dos fluxos diários de radiação líquida e radiação solar incidente, durante fevereiro de 2003, em Patos.

armazenada no período diurno é facilmente perdida para a atmosfera, logo que o período noturno se inicia. Já o tanque padrão e os de 1,0m e o de 0,5m de profundidade, por serem enterrados e apresentarem maior lâmina d'água, permanecem mais aquecidos do que o tanque Classe A e o ar. Observa-se também que a temperatura do ar e do tanque Classe A são muito próximas, em termos de média diária, a temperatura do ar é superior a do tanque Classe A apenas  $0,7^{\circ}\text{C}$ . No entanto, o tanque padrão ( $20\text{m}^2$ ), devido a sua maior área, o calor armazenado no período diurno, é praticamente mantido no período noturno, apresentando diferença de apenas  $2,6^{\circ}$  entre os valores extremos de temperatura. O maior aquecimento do tanque Classe A no período diurno, e o maior resfriamento no período noturno, foi observado por Silva (2000) e Bezerra et al. (2002).

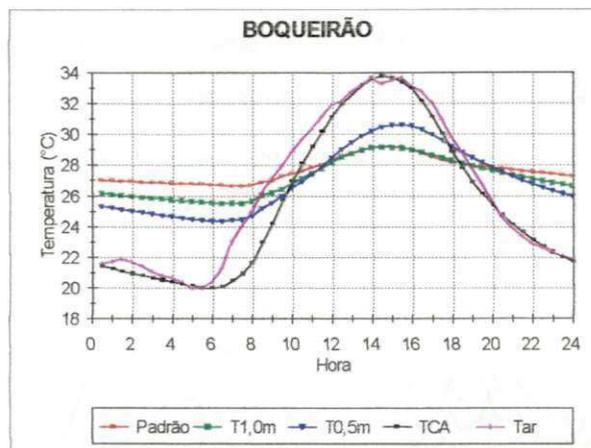


Figura 4.171. Evolução da temperatura média da água dos tanques evaporimétricos e do ar a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (06/12/2002), em Boqueirão.

Nas Figuras de 4.172 a 4.175, são mostrados os comportamentos dos demais parâmetros meteorológicos para esse mesmo dia. Observa-se na Figura 4.172 que a radiação global incidente ( $R_g$ ) e a radiação líquida ( $R_n$ ), apresentaram valores máximos por volta das 11:30h, correspondendo a  $1013,0 \text{ W/m}^2$  e  $729,9 \text{ W/m}^2$ , respectivamente. Em termos de totais diários,  $R_g$  correspondeu a  $26,6 \text{ MJ/m}^2/\text{dia}$  e  $R_n$  a  $19,0 \text{ MJ/m}^2/\text{dia}$ . O comportamento médio da velocidade do vento a 2 e 4 m acima da superfície do solo mostrado na Figura 4.173, indica que a partir das 06:30h houve um aumento da velocidade do vento em ambos os níveis, que se acentuou a partir de 08:30h, permanecendo até cerca das 22:00h. A velocidade média diária do vento a 2 m de altura nesse dia foi de  $2,5 \text{ m/s}$ , e a 4 m de altura, foi de  $3,4 \text{ m/s}$ , e os máximos, de  $4,6$  e  $5,7 \text{ m/s}$ , respectivamente. A predominância do vento foi entre o leste -

Tabela 4.1. Evaporação média diária dos tanques evaporimétricos para cada mês em Boqueirão e Patos.

MÊS	BOQUEIRÃO				PATOS			
	Padrão	T1,0m	T0,5m	TCA	Padrão	T1,0m	T0,5m	TCA
Abr	5,65	5,73	5,76	6,38	5,59	5,68	5,69	6,07
Mai	4,00	4,06	4,05	4,29	4,86	4,90	5,01	5,25
Jun	3,12	3,14	3,20	3,40	4,91	4,91	4,92	5,38
Jul	3,80	3,91	3,84	4,35	6,30	6,49	6,38	7,91
Ago	4,77	4,77	4,81	5,81	7,61	7,81	7,71	9,44
Set	5,91	6,22	6,27	7,75	7,93	8,28	8,43	10,33
Out	6,32	6,60	6,77	8,05	8,84	9,42	9,21	11,27
Nov	6,97	7,15	7,37	8,72	8,37	9,24	9,01	11,04
Dez	6,59	6,79	6,99	8,22	7,22	7,90	7,83	9,54
Jan	6,61	6,76	6,89	8,47	6,36	6,81	6,77	8,22
Fev	5,59	5,79	5,99	6,95	5,98	6,42	6,27	7,57

## 4.2 – Análise diária de alguns parâmetros

Para ter-se uma idéia de como se comporta a evaporação sob condições extremas em um dia totalmente ensolarado e outro muito nublado com ocorrência de precipitação pluviométrica, é mostrado a seguir para as duas regiões estudadas, o comportamento diário da evolução de alguns parâmetros meteorológicos.

### 4.2.1 – BOQUEIRÃO

#### 4.2.1.1 - Dia ensolarado

Na Figura 4.171 observa-se que em um dia completamente ensolarado (06/12/2002), as temperaturas da água do tanque Classe A e do ar, no intervalo de 10:00 as 18:00h são maiores que a temperatura da água dos demais tanques, enquanto no restante do dia, apresentam-se menores. Ou seja, no período noturno, devido a constituição metálica do tanque Classe A, pouca profundidade da lâmina (20cm) e exposição acima do solo, a energia

tanque padrão durante todo o dia, foi muito pequena, permanecendo praticamente constante e maior, tanto em relação aos demais tanques, como ao ar. Em seqüência, o tanque de 1,0m de profundidade, o segundo mais profundo em lâmina d'água, apresentou maior temperatura que o de 0,5m de profundidade, e este, maior temperatura que o tanque Classe A, que por sua vez, teve maior temperatura que o ar. Ou seja, nessas condições, devido o tanque padrão ser enterrado e ter uma profundidade de 2,0 m, conseqüentemente, uma lâmina maior, conserva mais energia do que os tanques de 1,0m e de 0,5m, os quais, por serem também enterrados, e terem maiores lâminas, também apresentam pouca variação de temperatura ao longo do dia, o que não acontece com o tanque Classe A e a temperatura do ar, esses, por serem mais susceptíveis às variações das condições climáticas, principalmente as térmicas e menor incidência de radiação solar.

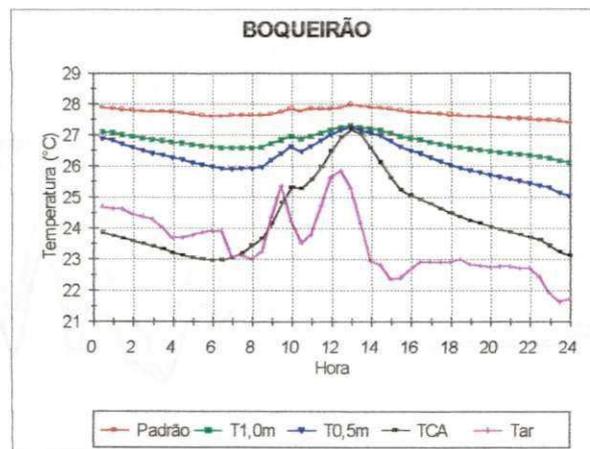


Figura 4.176. Evolução da temperatura média da água dos tanques evaporimétricos e do ar a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Boqueirão.

O comportamento dos demais parâmetros meteorológicos para um dia com nebulosidade elevada e precipitação pluvial, são apresentados nas Figuras 4.177 a 4.180. Observa-se na Figura 4.177 que no horário de 10:00 às 10:30h e a partir das 13:00h, houve uma redução ainda mais acentuada dos fluxos de radiação, devido a ocorrência de precipitação nesses horários, conforme pode ser observado na Figura 4.181. Os máximos de radiação global incidente ( $R_g$ ) e da radiação líquida ( $R_n$ ), ocorreram por volta de 12:00h, correspondendo a  $386,2 \text{ W/m}^2$  e  $318,2 \text{ W/m}^2$ , respectivamente. Em termos de totais diários,  $R_g$  correspondeu a  $6,4 \text{ MJ/m}^2/\text{dia}$  e  $R_n$  a  $5,1 \text{ MJ/m}^2/\text{dia}$ . Já a velocidade do vento nos níveis de

sudeste (Figura 4.174). Na figura 4.175 observa-se que a umidade relativa do ar para esse dia ensolarado, a partir das 05:30h começou a diminuir, atingindo um mínimo de 40,7% por volta das 14:30h, e uma média diária de 67,7%.

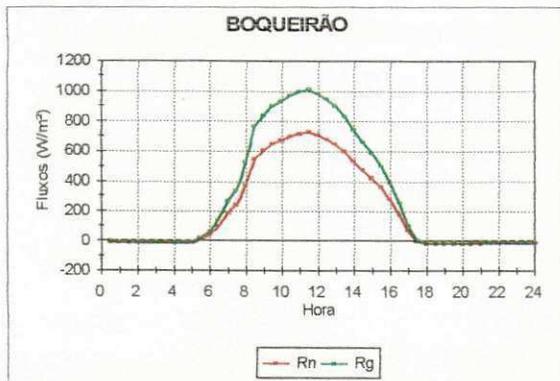


Figura 4.172. Evolução dos fluxos médios de radiação líquida e global, a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (06/12/2002), em Boqueirão.

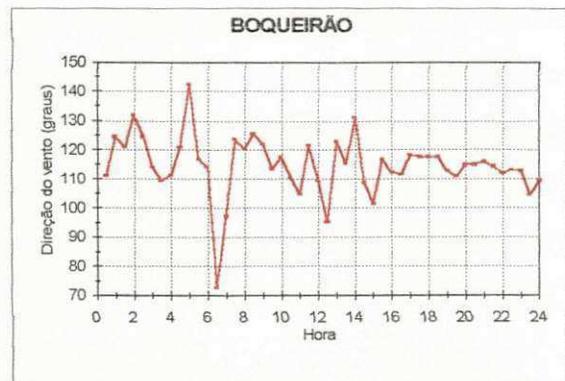


Figura 4.174. Comportamento da direção predominante do vento a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (06/12/2002), em Boqueirão.

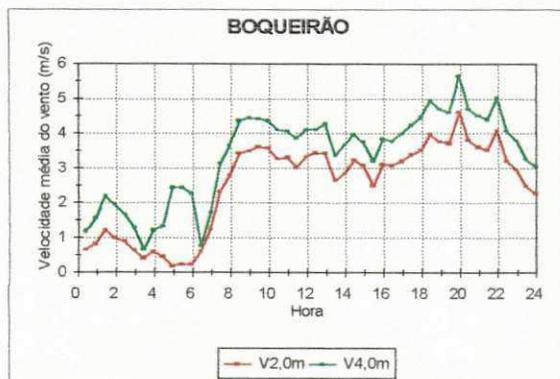


Figura 4.173. Evolução da velocidade média do vento a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (06/12/2002), em Boqueirão.

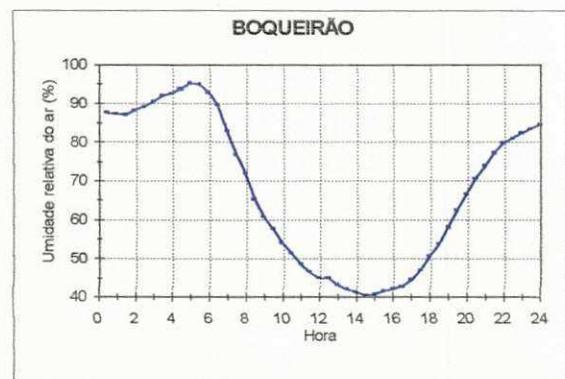


Figura 4.175. Comportamento da umidade relativa do ar, a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (06/12/2002), em Boqueirão.

#### 4.2.1.2 - Dia com acentuada nebulosidade e ocorrência de precipitação pluviométrica

Conforme pode ser observado na Figura 4.176 que mostra o comportamento da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar, para um dia com acentuada nebulosidade e ocorrência de precipitação (06/05/2002), a variação da temperatura da água do

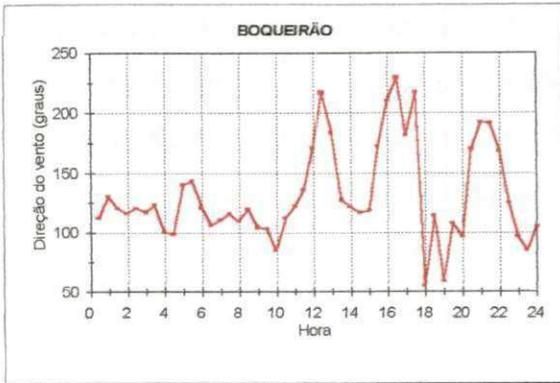


Figura 4.179. Comportamento da direção predominante do vento a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Boqueirão.

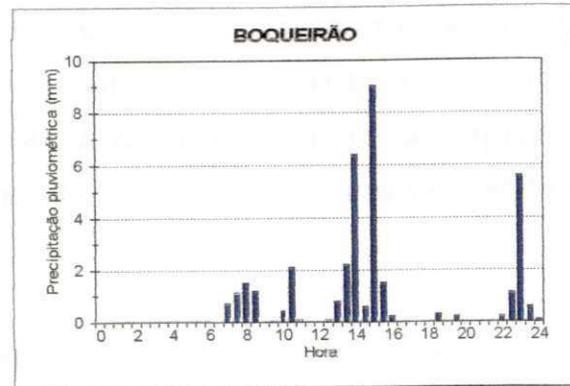


Figura 4.181. Precipitação acumulada a cada 30 minutos, durante o dia 06/05/2002, em Boqueirão.



Figura 4.180. Comportamento da umidade relativa do ar, a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Boqueirão.

## 4.2.2 - PATOS

### 4.2.2.1 - Dia ensolarado

Na Figura 4.182 é mostrado o comportamento da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar para um dia ensolarado (12/12/2002) em Patos. Conforme pode ser observado, da mesma forma como ocorreu em Boqueirão, o tanque Classe A se aqueceu mais do que os demais tanques no período diurno, e se resfriou mais no período noturno. Nesse dia que corresponde a um dia de final de primavera, devido às condições climáticas favoráveis, a

2 e 4 m mostrada na Figura 4.178, indica que a atuação do vento nesse dia, não foi tão forte, exceto no horário das 10:00h, quando a velocidade máxima no nível de 2 m foi de 3,7 m/s e no nível de 4 m de 4,4 m/s. Em termos médio diário, a velocidade do vento a 2 m de altura foi de 1,1 m/s, e a 4 m de altura, de 1,7 m/s. A predominância do vento nesse dia mostrado na Figura 4.179, a exemplo do dia ensolarado, foi também de leste – sudeste. Analisando-se no entanto a evolução da umidade relativa do ar para este dia chuvoso, apresentado na Figura 4.180, verifica-se que o menor valor de umidade foi de 85,4% e ocorreu as 00:30h, enquanto o máximo de 98,5% verificou-se por volta das 23:30h, e a média diária foi de 93,0%, valor bem mais elevado do que o observado no dia ensolarado. Como consequência, o déficit de saturação do ar foi extremamente pequeno nesse dia, contribuindo para evaporação diária de apenas 2,50 mm no tanque padrão; 2,89 mm no T1,0m; 2,64 mm no T0,5m; e 2,92 mm no TCA. Valores bem menores do que aqueles observados no dia ensolarado: 6,71; 7,26; 7,75; e 9,01 mm, respectivamente.

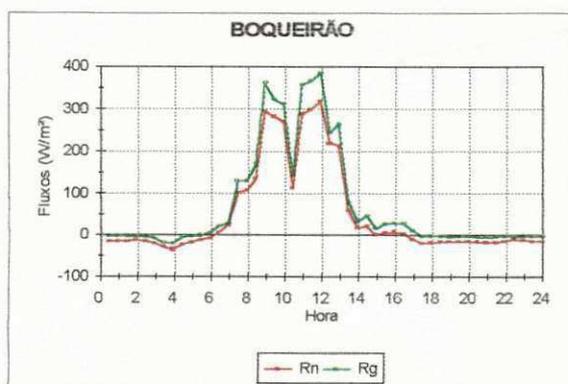


Figura 4.177. Evolução dos fluxos médios de radiação líquida e global, a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Boqueirão.

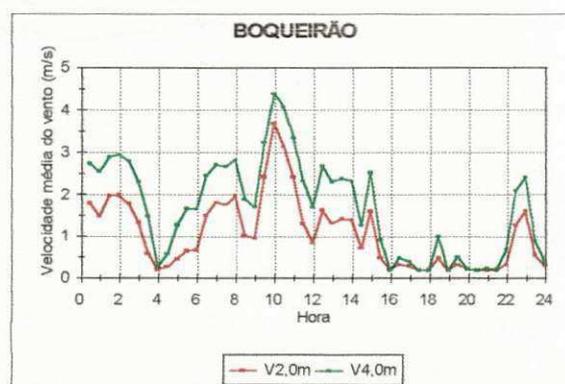


Figura 4.178. Evolução da velocidade média do vento a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Boqueirão.

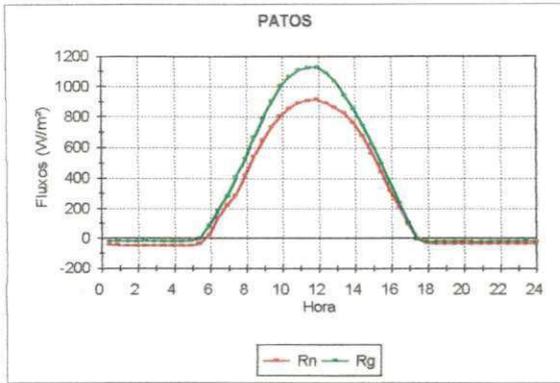


Figura 4.183. Evolução dos fluxos médios de radiação líquida e global, a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (12/12/2002), em Patos.

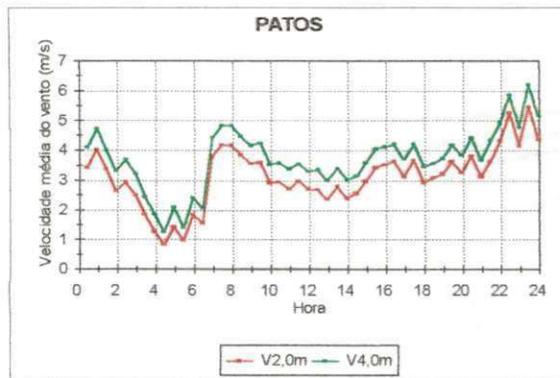


Figura 4.184. Evolução da velocidade média do vento a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (12/12/2002), em Patos.

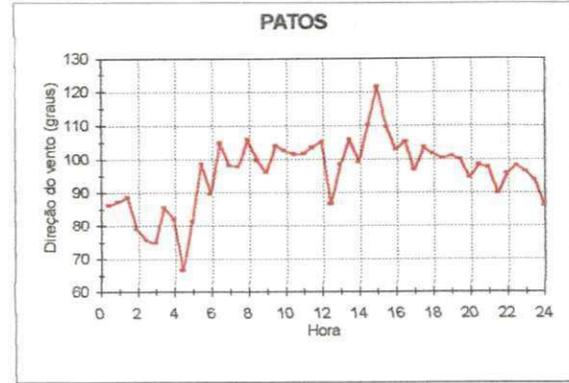


Figura 4.185. Comportamento da direção predominante do vento a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (12/12/2002), em Patos.

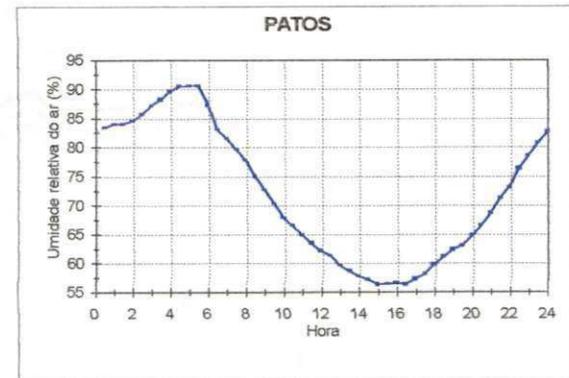


Figura 4.186. Comportamento da umidade relativa do ar, a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (12/12/2002), em Patos.

#### 4.2.2.2 - Dia com acentuada nebulosidade e ocorrência de precipitação pluviométrica

Na Figura 4.187 pode ser observado o comportamento da temperatura da água dos tanques evaporimétricos e do ar para um dia com acentuada nebulosidade e chuvoso (06/05/2002), em Patos. Constata-se claramente através da Figura 4.187 que nessas condições, o maior armazenamento de calor ocorreu nos tanques mais profundos. Como nesse dia, além de muito nublado, teve ocorrência de precipitação (Figura 4.192), não houve grandes variações nas temperaturas da água dos tanques enterrados, exceto no horário entre 09:00 e 11:30h, quando houve aumento das temperaturas devido a incidência de radiação solar direta (Figura 4.189). Por outro lado, observa-se que como o ar, o tanque Classe A, devido a sua

temperatura do ar durante o dia inteiro, foi superior a temperatura do tanque Classe A, em média  $2,7^{\circ}\text{C}$ , o que contribuiu ao lado do vento acentuado de  $3,2\text{ m/s}$  a  $2\text{ m}$  de altura, para uma evaporação elevada em todos os tanques:  $9,40\text{ mm/dia}$  no tanque padrão;  $10,00\text{ mm/dia}$  no T1,0m;  $9,68\text{ mm/dia}$  no T0,5m; e  $11,68\text{ mm/dia}$  no tanque Classe A.

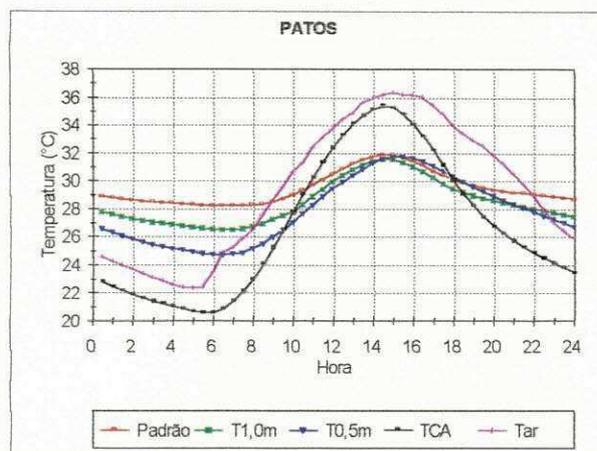


Figura 4.182. Evolução da temperatura média da água dos tanques evaporimétricos e do ar a cada 30 minutos, para um dia ensolarado (12/12/2002), em Patos

O comportamento dos demais parâmetros meteorológicos para o dia ensolarado pode ser observado nas Figuras de 4.183 a 4.186. Conforme pode ser verificado, a radiação global incidente e a radiação líquida (Figura 4.183), apresentaram valores máximos de  $1113,0\text{ W/m}^2$  e  $914,0\text{ W/m}^2$ , respectivamente, por volta das 12:00h. Em termos de total diário,  $R_g$  foi  $28,6\text{ MJ/m}^2/\text{dia}$  e  $R_n$   $23,6\text{ MJ/m}^2/\text{dia}$ . Já a velocidade média do vento a  $2$  e  $4\text{ m}$  acima da superfície do solo (Figura 4.184), no intervalo das 07:00 às 24:00h, teve apenas pequenas variações, e correspondeu a  $3,1$  e  $3,7\text{ m/s}$ , respectivamente. Pode-se observar também que as máximas às 23:30h alcançaram  $5,5$  e  $6,2\text{ m/s}$ , respectivamente. A predominância do vento (Figura 4.185), foi de leste - sudeste. Na figura 4.186 verifica-se que a umidade relativa do ar para este dia ensolarado, atingiu seu valor mínimo por volta das 16:30h ( $56,5\%$ ), e uma média diária de  $72,1\%$ . Pode-se deduzir analisando a Figura 4.186, que a partir das 15:00h, a umidade começa a se elevar, indo até cerca de 05:30h do dia seguinte, quando começa a decrescer, atingindo o mínimo por volta das 15:00h.

evaporimétricos, que, somente cerca de uma hora e meia depois (11:30h), tiveram diminuição de temperatura. A máxima velocidade do vento nesse dia, foi de 3,2 m/s no nível de 2 m de altura, e 3,7m/s no de 4 m, e a velocidade média para os dois níveis, foi de 0,6 m/s e 0,9 m/s, respectivamente. Em termos de direção do vento, observa-se na Figura 4.190, que o vento teve direção média predominante de oeste, no entanto, a partir de 10:00h até 14:00h, passou a ter direção variando de leste para nordeste, contribuindo para as variações observados nos parâmetros estudados. Em especial, pode se observar na Figura 4.192, que esta mudança na direção do vento, muito provavelmente esteve associada ao sistema de nebulosidade que proporcionou as precipitações ocorridas a partir de 11:00h até as 20:00h. O comportamento da umidade relativa do ar é apresentado na Figura 4.191, na qual, observa-se claramente que a diminuição da umidade entre 08:00 e 11:00h, coincidiu com o intervalo em que houve aumento da incidência de radiação solar. A média da umidade relativa do ar nesse dia foi de 94,2%, porém, no momento em que houve aumento da incidência de radiação, a umidade caiu para cerca de 75%.

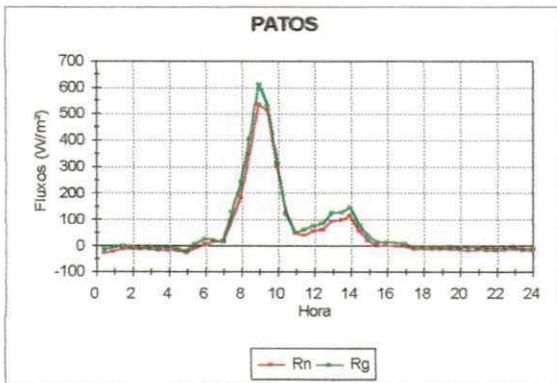


Figura 4.188. Evolução dos fluxos médios de radiação líquida e global, a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Patos.

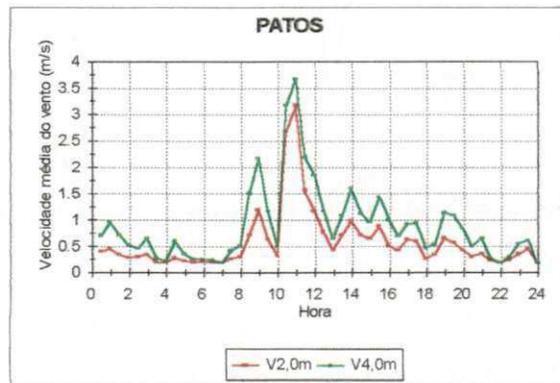


Figura 4.189. Evolução da velocidade média do vento a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Patos.

constituição e exposição, apresentaram as menores temperaturas. No entanto, no momento em que houve incidência direta de radiação solar, ambos sofrem o efeito mais intensamente que os demais tanques, isso devido a susceptibilidade dos mesmos, já comentado anteriormente. Ou seja, o tanque Classe A que em dias normais, ao longo do período diurno é o mais quente dos tanques, nessa situação comporta-se exatamente de forma oposta, torna-se mais frio também no período diurno. Com isso, nesses dias sua evaporação é praticamente igual as dos demais tanques, conforme pode ser constatado pelos valores observados no dia 06/05/2002 em Patos: padrão, 1,66 mm/dia; T1,0m, 1,74 mm/dia; T0,5m, 1,81 mm/dia; e TCA, 1,76 mm/dia.

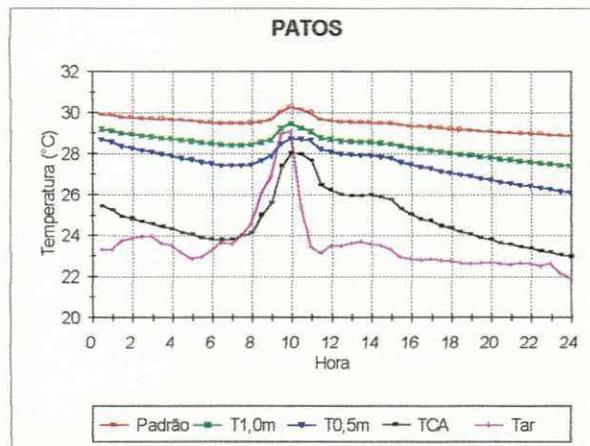


Figura 4.187. Evolução da temperatura média da água dos tanques evaporimétricos e do ar a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Patos.

O comportamento dos fluxos de radiação solar incidente e o saldo de radiação é apresentado na Figura 4.188. Observa-se que neste dia chuvoso, a maior incidência de radiação solar ocorreu no intervalo entre 07:30 e 10:30h, com  $R_g$  atingindo um máximo de  $615,7 \text{ W/m}^2$  e  $R_n$  de  $536,1 \text{ W/m}^2$ . Em termos de totais diários,  $R_g$  correspondeu a apenas  $6,0 \text{ MJ/m}^2/\text{dia}$  e  $R_n$   $5,0 \text{ MJ/m}^2/\text{dia}$ , valores quatro vezes menores do que em dias de pouca nebulosidade. Como pode ser observado, o aumento mais acentuado da radiação entre 09:00 e 10:00h, contribuiu para aumentar a temperatura de todos os tanques, e principalmente, a temperatura do ar e do tanque Classe A (Figura 4.187). No entanto, analisando a Figura 4.189, verifica-se que a ocorrência de ventos mais fortes entre 10:00 e 11:30h, causou uma diminuição imediata na temperatura do ar, o que não ocorreu com a temperatura dos tanques

T0,5m, apresentou pequenas diferenças, em média, o tanque padrão teve temperatura de 1°C maior que o açude, o T1,0m, 0,4°C maior, e o T0,5m, 0,1°C menor que o açude. Por outro lado, o tanque Classe A e o ar, apresentaram temperaturas inferiores ao açude, em média, 3,2°C e 3,0°C, respectivamente. Já no período de 11:00 às 20:00h, como consequência da maior incidência dos raios solares no período diurno, devido a menor profundidade das lâminas de água dos tanques, é notável o maior aquecimento desses em relação ao açude. O tanque Classe A, devido às condições mencionadas anteriormente, teve em média, um aquecimento de 2,4°C superior ao açude, o mesmo valor também foi observado para o ar. Nesse mesmo período, o tanque padrão ficou mais aquecido 1,3°C que o açude, o T1,0m, 1,1°C, e o T0,5m, 1,6°C. Em termos de média diária, enquanto o tanque padrão, o T1,0m, e o T0,5m, mostraram-se mais aquecidos do que o açude em 1,1, 0,7, e 0,7°C, respectivamente, o tanque Classe A e o ar, apresentaram respectivamente, resfriamento de 0,9°C em relação ao açude. Diante dessa situação, é razoável supor que o tanque Classe A, embora tenha uma expressiva evaporação durante o período de maior incidência de radiação solar, no período noturno não apresenta evaporação, como certamente ocorre nos açudes e outros corpos d'água. Particularmente, sabe-se que a temperatura média diária do tanque Classe A, tem sido obtida nas estações meteorológicas, tomando-se as temperaturas máximas e mínimas, somando-as e dividindo por dois. Diante do exposto, é muito importante ter-se cautela ao comparar-se a temperatura média diária da água do tanque Classe A, com a temperatura média diária da água de um açude, visto que pode se cometer erros conceituais sérios, já que, embora as médias numericamente sejam iguais, seus comportamentos termodinâmicos são extremamente diferentes ao longo do dia. Analisando ainda a Figura 4.193, verifica-se que no período noturno, a água do açude, do tanque padrão, do T1,0m e do T0,5m, permaneceram bem mais aquecida do que a temperatura do ar, conseqüentemente, estando as massas de água tanto do açude como dos tanques mais aquecidas do que o ar, continua havendo evaporação. Esta situação é bem diferente no tanque Classe A, o qual, ao contrário do açude e dos demais tanques, durante parte do dia e toda a noite, apresenta temperatura bem menos elevada. Aliás, o tanque Classe A é o único, cuja temperatura se comporta aproximadamente como a do ar. Ou seja, a evolução diária da temperatura do tanque Classe A, tem praticamente o mesmo comportamento da temperatura do ar, só que defasado cerca de uma hora. Jacobs et al. (1998) afirmam que no período noturno, quando a temperatura da água é maior que a do ar, o tanque continua a evaporar.

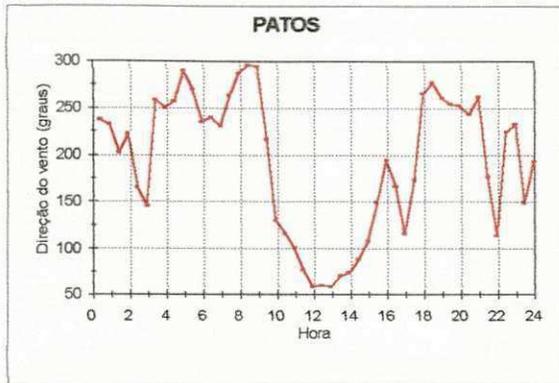


Figura 4.190. Comportamento da direção predominante do vento a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Patos.

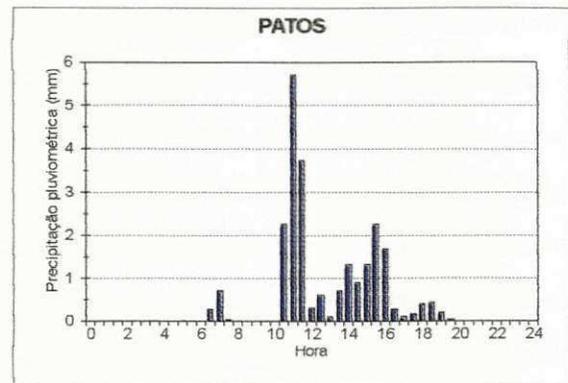


Figura 4.192. Precipitação acumulada a cada 30 minutos, durante o dia 06/05/2002, em Patos.

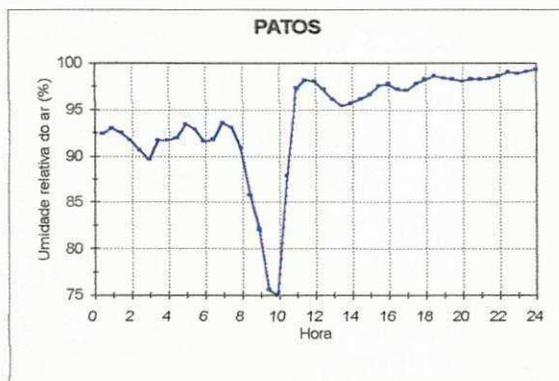


Figura 4.191. Comportamento da umidade relativa do ar, a cada 30 minutos, para um dia com nebulosidade e chuva (06/05/2002), em Patos.

### 4.3 – Análise diária da temperatura da água dos açudes Epitácio Pessoa e Jatobá

Para se ter idéia do comportamento diário da temperatura da água do açude em relação aos tanques evaporimétricos e ao ar, nas Figuras 4.193 e 4.194 é apresentada a evolução diária média a cada meia hora da temperatura do açude Epitácio Pessoa e tanques evaporimétricos, em Boqueirão no dia 16/08/2002, e do açude Jatobá e tanques evaporimétricos, em Patos no dia 18/08/2002. Observa-se na Figura 4.193, que no intervalo de 00:30 às 11:00h a temperatura da água do açude Epitácio Pessoa em relação aos tanques padrão, T1,0m e

enquanto o açude e os demais tanques estiveram mais aquecidos que o ar. Desta forma, houve continuidade do processo evaporativo no período noturno, da mesma forma que já foi comentado em relação a Boqueirão.

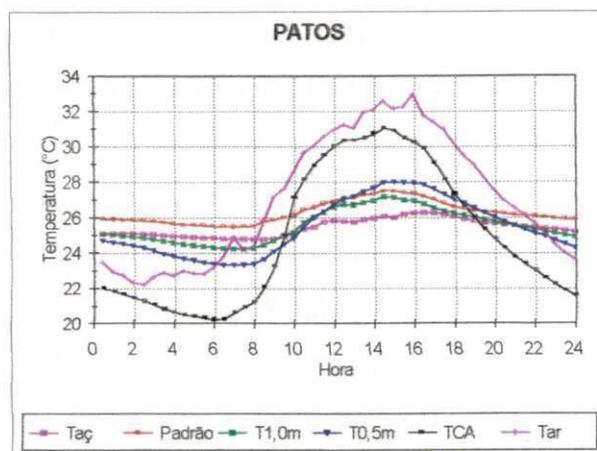


Figura 4.194. Evolução diária média a cada meia hora da temperatura da água do açude Jatobá e dos tanques evaporimétricos e do ar para o dia 18/08/2002.

#### 4.3.1 – Estimativa da temperatura mensal dos açudes Epitácio Pessoa e Jatobá

Tomando como base as medidas de temperatura da água efetuadas nos açudes Epitácio Pessoa em Boqueirão e Jatobá em Patos, e medidas obtidas nos tanques evaporimétricos de 20m<sup>2</sup>, de 1,0m e 0,5m de profundidade, e no tanque Classe A, bem como, medidas de temperatura do ar, obteve-se através de regressão linear, equações para estimar a temperatura mensal da água dos respectivos açudes. Nas Tabelas 4.2a a 4.2f são apresentados para os meses de julho a dezembro de 2002, os coeficientes linear (a), angular (b), de determinação ( $R^2$ ) e o erro padrão de estimativa (EPE) para o açude Epitácio Pessoa em Boqueirão. Analisando simultaneamente as tabelas, verifica-se que os menores coeficientes de determinação obtidos, foram os relativos a temperatura do ar. Para os tanques evaporimétricos, estes coeficientes variaram de 0,72 no tanque de 0,5m de profundidade durante o mês de julho, a 0,97 no tanque de 1,0m de profundidade durante o mês de agosto. Ou seja, apesar das diferenças de temperatura da água observadas no tanque Classe A nos períodos diurno e noturno em relação ao açude e os demais tanques, como na regressão linear,

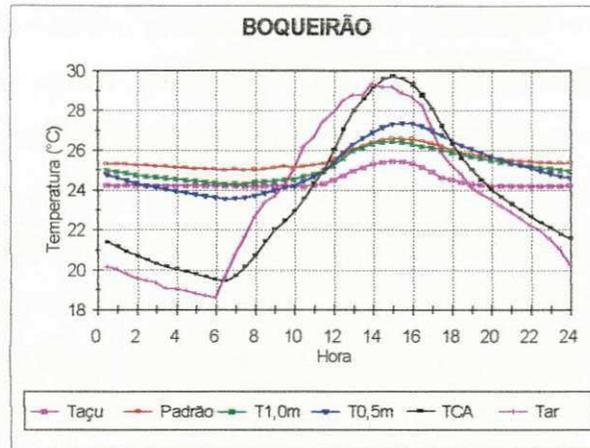


Figura 4.193. Evolução diária média a cada meia hora da temperatura da água do açude Epitácio Pessoa, dos tanques evaporimétricos e do ar no dia 16/08/2002.

Na Figura 4.194, na qual é apresentado o comportamento da temperatura média da água do açude Jatobá e dos tanques evaporimétricos e do ar para o dia 18/08/2002, em Patos, observa-se em particular que, a temperatura média diária do ar é superior ( $3,5^{\circ}\text{C}$ ) àquela observada em Boqueirão. Conforme pode ser verificado na Figura 4.194, no intervalo de 00:30 às 10:30h as diferenças entre a temperatura da água do açude em relação aos tanques padrão, T1,0m e o T0,5m, também são pequenas, em média; enquanto o tanque padrão teve uma temperatura superior ao açude de  $0,8^{\circ}\text{C}$ , os tanques T1,0m e T0,5m tiveram temperaturas de  $0,3^{\circ}\text{C}$  e  $0,9^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, menor que o açude. Já o tanque Classe A apresentou temperatura inferior ao açude de cerca de  $3,0^{\circ}\text{C}$  e o ar, diferentemente de Boqueirão, teve em média, uma temperatura inferior ao açude de  $0,7^{\circ}\text{C}$ . No horário das 10:30 às 19:00h, que compreende o período de maior incidência de radiação solar, observa-se aquecimento dos tanques em relação ao açude, bem como, aumento expressivo da temperatura do ar, que em média, teve  $5,2^{\circ}\text{C}$  a mais que a temperatura da água do açude. Já o tanque Classe A, teve um aquecimento superior ao açude em cerca de  $3,4^{\circ}\text{C}$ , enquanto os demais tanques (padrão, T1,0m, e T0,5m) tiveram em média, mais aquecidos do que o açude,  $1,0$ ,  $0,6$  e  $1,2^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Em termos de média diária, o tanque padrão esteve mais aquecido do que o açude  $0,8^{\circ}\text{C}$ , o T1,0m, apenas  $0,1^{\circ}\text{C}$ , e o T0,5m, teve temperatura média diária igual ao açude,  $25,5^{\circ}\text{C}$ . Já o tanque Classe A, apresentou um resfriamento de  $0,6^{\circ}\text{C}$  em relação ao açude, e o ar, ao contrário de Boqueirão, esteve mais aquecido que a temperatura da água do açude  $1,6^{\circ}\text{C}$ . Analisando ainda a Figura 4.194, verifica-se que no período noturno, em nenhum momento, a temperatura da água do tanque Classe A foi superior a temperatura do ar,

Tabela 4.2c. Setembro - 2002.

Tanque	Coeficientes e erro padrão de estimativa			
	A	b	R <sup>2</sup>	EPE (°C)
Padrão	-0,59	0,9362	0,87	0,23
T1,0m	9,62	0,5566	0,85	0,25
T0,5m	16,36	0,3067	0,87	0,23
TCA	21,02	0,1412	0,87	0,22
Ar	20,94	0,1391	0,78	0,30

Tabela 4.2d. Outubro - 2002.

Tanque	Coeficientes e erro padrão de estimativa			
	A	b	R <sup>2</sup>	EPE (°C)
Padrão	4,28	0,7497	0,81	0,21
T1,0m	13,65	0,4113	0,86	0,18
T0,5m	18,63	0,2309	0,85	0,18
TCA	22,25	0,1048	0,89	0,16
Ar	22,00	0,1109	0,83	0,20

Tabela 4.2e. Novembro - 2002.

Tanque	Coeficientes e erro padrão de estimativa			
	A	b	R <sup>2</sup>	EPE (°C)
Padrão	1,54	0,8731	0,87	0,13
T1,0m	13,93	0,4319	0,84	0,15
T0,5m	19,18	0,2401	0,88	0,13
TCA	23,40	0,0876	0,74	0,19
Ar	23,61	0,0767	0,61	0,23

foi considerado o período de 24 h, o aumento de temperatura durante o período diurno é compensado pela diminuição durante o período noturno. Isto em parte pode justificar coeficientes de determinação para o tanque Classe A, iguais ou superiores aos coeficientes dos demais tanques em alguns meses. Outra situação que certamente deve ter contribuído para afetar as condições de temperatura da água do açude, foram as ondas geradas pelo deslocamento de barcos, principalmente no açude Epitácio Pessoa. Em termos de erro padrão de estimativa (EPE), observa-se que exceto no T0,5m durante o mês de agosto, que foi de 0,49°C, nos demais meses, o EPE dos tanques evaporimétricos variou de 0,13 a 0,31°C.

Tabelas 4.2a a 4.2f. Coeficientes linear (a), angular (b), de determinação ( $R^2$ ) e o erro padrão de estimativa (EPE) obtidos com base na regressão linear entre as temperaturas da água do açude Epitácio Pessoa e da água dos tanques evaporimétricos e do ar, em Boqueirão.

Tabela 4.2a. Julho – 2002.

Tanque	Coeficientes e erro padrão de estimativa			
	A	b	$R^2$	EPE (°C)
Padrão	5,58	0,7386	0,85	0,16
T1,0m	11,85	0,5006	0,73	0,21
T0,5m	17,38	0,2819	0,72	0,22
TCA	21,92	0,1081	0,78	0,19
Ar	22,38	0,0885	0,61	0,25

Tabela 4.2b. Agosto - 2002.

Tanque	Coeficientes e erro padrão de estimativa			
	A	b	$R^2$	EPE (°C)
Padrão	1,94	0,8729	0,94	0,31
T1,0m	5,73	0,7069	0,97	0,23
T0,5m	9,74	0,5671	0,85	0,49
TCA	17,46	0,2895	0,94	0,31
Ar	16,95	0,3051	0,88	0,44

Tabelas 4.3a a 4.3f. Coeficientes linear (a), angular (b), de determinação ( $R^2$ ) e o erro padrão de estimativa (EPE) obtidos com base na regressão linear entre as temperaturas da água do açude Jatobá e da água dos tanques evaporimétricos e do ar, em Patos.

Tabela 4.3a. Julho – 2002.

Tanque	Coeficientes e erro padrão de estimativa			
	a	b	$R^2$	EPE (°C)
Padrão	11,76	0,5390	0,82	0,21
T1,0m	15,93	0,3994	0,89	0,17
T0,5m	18,89	0,2899	0,96	0,10
TCA	23,62	0,1168	0,82	0,22
Ar	23,59	0,1124	0,66	0,30

Tabela 4.3b. Agosto - 2002.

Tanque	Coeficientes e erro padrão de estimativa			
	a	b	$R^2$	EPE (°C)
Padrão	5,72	0,7502	0,89	0,16
T1,0m	12,99	0,4876	0,93	0,13
T0,5m	18,16	0,2862	0,95	0,11
TCA	22,45	0,1206	0,81	0,22
Ar	22,04	0,1261	0,77	0,24

Tabela 4.3c. Setembro - 2002.

Tanque	Coeficientes e erro padrão de estimativa			
	a	b	$R^2$	EPE (°C)
Padrão	8,93	0,6341	0,84	0,19
T1,0m	15,22	0,4271	0,86	0,18
T0,5m	21,10	0,2068	0,84	0,19
TCA	24,54	0,0798	0,54	0,32
Ar	24,10	0,0872	0,52	0,33

Tabela 4.2f. Dezembro - 2002.

Tanque	Coeficientes e erro padrão de estimativa			
	A	b	R <sup>2</sup>	EPE (°C)
Padrão	-19,83	1,6439	0,92	0,19
T1,0m	1,81	0,8973	0,84	0,27
T0,5m	13,39	0,4820	0,83	0,28
TCA	21,51	0,1941	0,84	0,27
Ar	21,85	0,1691	0,78	0,32

Os coeficientes linear (a), angular (b), de determinação (R<sup>2</sup>) e o erro padrão de estimativa (EPE) para o açude Jatobá em Patos, para cada mês estudado, são apresentados nas Tabelas 4.3a a 4.3f. Analisando as tabelas, observa-se que a exemplo do que ocorreu em Boqueirão, o menor coeficiente de determinação observado é quando toma como base a temperatura do ar. Por outro lado, exceto para o mês de outubro, o coeficiente de determinação do tanque Classe A foi inferior aos dos demais tanques evaporimétricos. Isto, provavelmente, está associado às condições climáticas de Patos, bem mais quente do que Boqueirão, o que deve contribuir para uma diferença mais acentuada entre a temperatura deste tanque e a do açude. Também, ao contrário do açude Epitácio Pessoa, as condições de temperatura da água no açude Jatobá não foram tão afetadas pela movimentação de barcos. Verifica-se que no tanque padrão, o coeficiente de determinação variou de 0,82 em julho, a 0,98 no mês de outubro. Os tanques de 1,0 e 0,5m de profundidade, também apresentaram elevados coeficientes de determinação. Em termos de erro padrão de estimativa observado nos tanques evaporimétricos, o menor erro ocorreu no tanque de 0,5m de profundidade durante o mês de julho, apenas 0,10°C, e o maior, também no T0,5m durante o mês de outubro de 0,37°C.

#### 4.4 – Análise da evaporação mensal

A seguir é apresentada uma análise mensal da evaporação para o período abril/2002 a fevereiro/2003. A partir desta análise determinou-se: os coeficientes de tanque ( $K_p$ ); coeficientes de determinação ( $R^2$ ); o erro padrão de estimativa (EPE); além da diferença entre a evaporação mensal de cada tanque em relação ao tanque padrão ( $\Delta E$ ) e o erro relativo (ER). É importante salientar que os coeficientes de tanque ( $K_p$ ) obtidos para os meses de janeiro e fevereiro de 2003, foram usados apenas na comparação com os coeficientes médios obtidos para o período quente. Portanto não foram utilizados no cálculo do  $K_p$  médio obtido para todo o período.

Nas Tabelas 4.4, 4.5 e 4.6 são apresentados para Boqueirão: os totais mensais de evaporação observados em cada tanque evaporimétrico; os coeficientes de tanque ( $K_p$ ), os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os erros padrão de estimativa (EPE); a diferença mensal da evaporação de cada tanque em relação ao tanque padrão ( $\Delta E$ ) e o erro relativo (ER). Verifica-se na Tabela 4.4, que para todo o período estudado (abril/2002 a fevereiro/2003), as evaporações brutas nos tanques padrão, T1,0m e T0,5m totalizaram respectivamente a 1801,1; 1848,7 e 1879,8 mm e no tanque Classe A 2197,2 mm. No entanto, ao aplicar-se o fator 0,70 para corrigir a evaporação bruta do tanque Classe A, o total caiu para 1538,1 mm. Em termos de erro relativo de cada tanque em relação ao padrão (Tabela 4.6), verifica-se que enquanto os tanques T1,0m e T0,5m apresentaram erros médios mensais em relação ao tanque padrão de 2,5 e 4,0%, o tanque Classe A apresentou um erro bem maior, 20,6%. Por outro lado, ao multiplicar a leitura do tanque Classe A por 0,70, como é amplamente feito, o mesmo passou a subestimar o padrão em cerca de 15,6%. Deste modo, considerando que este procedimento é um ato rotineiro no balanço hídrico dos reservatórios, estima-se que a evaporação vem sendo subestimada em muitos locais por fator dessa mesma ordem. Como pode ser observado na Tabela 4.5, o menor coeficiente de tanque mensal encontrado em Boqueirão para o tanque Classe A foi o de setembro (0,76). Já nos meses mais chuvosos e frios como maio e junho, o  $K_p$  do tanque Classe A, alcançou 0,93 e 0,92, respectivamente. Portanto, em Boqueirão, ao invés do coeficiente 0,70 deveria ser aplicado um coeficiente médio de 0,84. Observa-se também que os coeficientes médios dos tanques T1,0m e T0,5m foram iguais a 0,98 e 0,97, respectivamente. Esses coeficientes estão bem próximo do coeficiente de 0,96 encontrado pela WMO (1966) entre o tanque de 20 m<sup>2</sup> e o GGI-3000, o que confirma a boa performance

Tabela 4.3d. Outubro - 2002.

Tanque	Coeficientes e erro padrão de estimativa			
	a	b	R <sup>2</sup>	EPE (°C)
Padrão	0,47	0,9063	0,98	0,13
T1,0m	6,25	0,7319	0,92	0,27
T0,5m	15,15	0,4196	0,84	0,37
TCA	22,22	0,1763	0,92	0,27
Ar	21,72	0,1906	0,88	0,32

Tabela 4.3e. Novembro - 2002.

Tanque	Coeficientes e erro padrão de estimativa			
	a	b	R <sup>2</sup>	EPE (°C)
Padrão	10,67	0,5873	0,83	0,18
T1,0m	15,53	0,4281	0,88	0,16
T0,5m	19,19	0,2969	0,86	0,17
TCA	24,74	0,0858	0,69	0,25
Ar	24,46	0,0893	0,57	0,29

Tabela 4.3f. Dezembro - 2002.

Tanque	Coeficientes e erro padrão de estimativa			
	a	b	R <sup>2</sup>	EPE (°C)
Padrão	7,76	0,6762	0,89	0,22
T1,0m	13,12	0,5201	0,96	0,13
T0,5m	20,07	0,2817	0,95	0,15
TCA	24,49	0,1359	0,79	0,31
Ar	24,30	0,1326	0,69	0,37

Tabela 4.5. Coeficientes de tanque (Kp), determinação (R<sup>2</sup>) e erro padrão de estimativa (EPE) mensal, para o período de abril a dezembro de 2002 em Boqueirão.

Mês	T1,0m			T0,5m			TCA		
	Kp	R <sup>2</sup>	EPE	Kp	R <sup>2</sup>	EPE	Kp	R <sup>2</sup>	EPE
<b>Abril</b>	0,99	0,97	0,14	0,98	0,96	0,16	0,89	0,89	0,26
<b>Mai</b>	0,99	0,97	0,22	0,99	0,96	0,25	0,93	0,97	0,21
<b>Junho</b>	0,99	0,98	0,12	0,97	0,97	0,16	0,92	0,95	0,21
<b>Julho</b>	0,97	0,96	0,24	0,99	0,95	0,27	0,87	0,93	0,32
<b>Agosto</b>	1,00	0,90	0,26	0,99	0,88	0,28	0,82	0,72	0,43
<b>Setembro</b>	0,95	0,95	0,20	0,94	0,89	0,29	0,76	0,69	0,49
<b>Outubro</b>	0,96	0,95	0,23	0,93	0,98	0,15	0,79	0,88	0,36
<b>Novembro</b>	0,98	0,97	0,21	0,95	0,95	0,25	0,80	0,83	0,48
<b>Dezembro</b>	0,97	0,95	0,13	0,94	0,70	0,33	0,80	0,56	0,39
<b>Média</b>	0,98	-	<b>0,19</b>	0,97	-	<b>0,24</b>	0,84	-	<b>0,35</b>

Tabela 4.6. Diferença entre a evaporação mensal de cada tanque em relação ao tanque padrão ( $\Delta E$ ) e o erro relativo (ER), no período de abril/2002 a fevereiro/2003 em Boqueirão.

Mês	T1,0m		T0,5m		TCA		TCA x 0,70	
	$\Delta E$ (mm)	ER (%)						
<b>Abril</b>	2,3	1,4	3,1	1,8	21,6	12,8	-35,7	-21,1
<b>Mai</b>	1,8	1,5	1,7	1,4	8,9	7,2	-30,9	-25,0
<b>Junho</b>	0,6	0,7	2,5	2,7	8,3	8,9	-22,2	-23,8
<b>Julho</b>	3,2	2,7	0,9	0,8	16,9	14,4	-23,5	-20,0
<b>Agosto</b>	0,0	0,0	1,3	0,9	32,3	21,8	-21,8	-14,7
<b>Setembro</b>	9,4	5,3	10,9	6,1	55,3	31,2	-14,5	-8,2
<b>Outubro</b>	8,4	4,3	13,9	7,1	53,5	27,3	-21,4	-10,9
<b>Novembro</b>	5,2	2,5	12,0	5,7	52,5	25,1	-26,0	-12,4
<b>Dezembro</b>	6,3	3,1	12,3	6,0	50,7	24,8	-25,8	-12,6
<b>Janeiro</b>	4,7	2,3	8,7	4,3	57,8	28,2	-21,0	-10,3
<b>Fevereiro</b>	5,7	3,6	11,4	7,3	38,2	24,4	-20,2	-12,9
<b>Média</b>	4,3	2,5	7,2	4,0	36,0	20,6	-23,9	-15,6
<b>Total</b>	47,6	-	78,7	-	396,1	-	-263,1	-

dos tanques T1,0m e T0,5m. Ainda na Tabela 4.5, vê-se que os menores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os maiores erros padrão de estimativas (EPE) são os do tanque classe A e ocorreram nos meses mais quentes e secos. No entanto, nos meses úmidos e frios, os  $R^2$  são elevados e os EPE são bem menores, o que explica nesses meses, o tanque Classe A apresentar índices de evaporação bem próximos do padrão, os quais, ao serem supostamente corrigidos, multiplicando-se pelo fator 0,70, como geralmente ocorre, tornam-se de fato mais incorretos. Por outro lado, verifica-se na Tabela 4.6, que durante o período estudado (abril/2002 a fevereiro/2003), enquanto a diferença entre a evaporação dos tanques T1,0m e T0,5m e o tanque padrão foi de 4,8 e 7,9 cm, respectivamente, no tanque Classe A, essa diferença foi de 39,6 cm, porém, ao aplicar-se o coeficiente 0,70, passou a subestimar a evaporação indicada no tanque padrão em 26,3 cm.

Tabela 4.4. Totais mensais de evaporação (mm) de abril de 2002 a fevereiro de 2003 em Boqueirão.

<b>Mês</b>	<b>Padrão</b>	<b>T1,0m</b>	<b>T0,5m</b>	<b>TCA</b>	<b>TCA x 0,70</b>
<b>Abril</b>	169,6	171,9	172,7	191,3	133,9
<b>Mai</b>	123,9	125,7	125,7	132,9	93,0
<b>Junho</b>	93,5	94,2	96,0	101,9	71,3
<b>Julho</b>	118,0	121,1	118,9	134,9	94,4
<b>Agosto</b>	148,0	147,9	149,3	180,3	126,2
<b>Setembro</b>	177,3	186,6	188,1	232,5	162,8
<b>Outubro</b>	196,1	204,5	210,0	249,6	174,7
<b>Novembro</b>	209,2	214,4	221,2	261,7	183,2
<b>Dezembro</b>	204,3	210,6	216,6	255,0	178,5
<b>Janeiro</b>	204,9	209,6	213,6	262,7	183,9
<b>Fevereiro</b>	156,4	162,1	167,8	194,6	136,2
<b>Total</b>	1801,1	1848,7	1879,8	2197,2	1538,1

úmido e frio, a evaporação do tanque Classe A se aproxima da evaporação do padrão, porém, ao ser corrigida pelo coeficiente 0,70 tornam-se ainda mais incorretas.

Tabela 4.7. Totais mensais de evaporação (mm) de abril de 2002 a fevereiro de 2003 em Patos.

<b>Mês</b>	<b>Padrão</b>	<b>T1,0m</b>	<b>T0,5m</b>	<b>TCA</b>	<b>TCA x 0,70</b>
<b>Abril</b>	167,7	170,5	170,8	182,0	127,4
<b>Mai</b>	150,8	151,9	155,2	162,7	113,9
<b>Junho</b>	147,3	147,4	147,5	161,5	113,0
<b>Julho</b>	195,3	201,3	197,9	245,1	171,6
<b>Agosto</b>	236,0	242,0	239,1	292,7	204,9
<b>Setembro</b>	237,9	248,3	252,8	309,9	216,9
<b>Outubro</b>	274,1	292,1	285,5	349,5	244,6
<b>Novembro</b>	251,1	277,1	270,2	331,2	231,9
<b>Dezembro</b>	223,9	244,8	242,8	295,7	207,0
<b>Janeiro</b>	197,2	211,1	209,8	255,8	179,0
<b>Fevereiro</b>	167,5	179,8	175,5	211,8	148,3
<b>Total</b>	2248,8	2366,2	2347,1	2797,9	1958,5

Nas Tabelas 4.7, 4.8 e 4.9 são apresentados para Patos: os totais mensais de evaporação de cada tanque evaporimétrico; os coeficientes de tanque ( $K_p$ ), os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e erro padrão de estimativa (EPE); e a diferença entre a evaporação mensal de cada tanque em relação ao tanque padrão ( $\Delta E$ ) e erro relativo (ER). Observa-se na Tabela 4.7, que em Patos, para todo o período estudado (abril/2002 a fevereiro/2003), enquanto a evaporação dos tanques padrão, T1,0m e T0,5m corresponderam a 2248,8, 2366,2 e 2347,1 mm, respectivamente, a evaporação bruta do tanque Classe A totalizou 2797,9 mm, e ao aplicar-se o fator 0,70 as leituras deste, o índice passou a 1958,5 mm. Analisando-se o erro relativo de cada tanque em relação ao padrão (Tabela 4.9), verifica-se que enquanto nos tanques T1,0m e T0,5m, os erros médios mensais foram de 4,8 e 4,1%, no tanque Classe A foi de 23,0%. Observa-se ainda que ao multiplicar a leitura do tanque Classe A por 0,70, o mesmo passou a subestimar o padrão em média cerca de 13,9%. Conforme já foi comentado anteriormente, como esse procedimento é geralmente adotado no balanço hídrico dos reservatórios, estima-se que também em Patos, a evaporação vem sendo igualmente subestimada nessa ordem de grandeza. Portanto, no que concerne ao coeficiente de tanque, é importante atentar para as condições climáticas de cada local, principalmente as condições de temperatura e de umidade do ar. Conforme os dados apresentados na Tabela 4.8, em Patos, ao invés de 0,70 o coeficiente médio do tanque Classe A, deveria ser cerca de 0,83. A exemplo do que foi verificado em Boqueirão, também em Patos, o menor coeficiente de tanque do Classe A foi de 0,76, observado nos meses de novembro e dezembro/2002. Da mesma forma, nos meses mais chuvosos e frios, abril, maio e junho, os coeficientes do tanque Classe A variaram de 0,91 a 0,93. Observa-se ainda que os coeficientes médios dos tanques T1,0m e T0,5m foram iguais a 0,96, coincidindo também com o encontrado pela WMO (1966) ao comparar o tanque de 20 m<sup>2</sup> com o tanque GGI - 3000, já comentado. De acordo com a Tabela 4.9, verifica-se que durante todo o período estudado (abril/2002 a fevereiro/2003), enquanto a diferença entre a evaporação dos tanques T1,0m e T0,5m e o tanque padrão foi cerca de 11,8 e 9,8 cm, no tanque Classe A, essa diferença foi cerca de 54,9 cm, e quando aplicou-se o fator 0,70, passou a ser cerca de 29,0 cm a menos do que o tanque padrão. Nota-se ainda na Tabela 4.9, a exemplo do que foi observado em Boqueirão, que em Patos nos meses úmidos e frios, os coeficientes de determinação obtidos para o tanque Classe A foram elevados e os erros padrão de estimativas foram pequenos, comprovando que no período

#### 4.4.1 – Análise por período da performance dos tanques evaporimétricos

Para avaliar a performance dos tanques evaporimétricos usados (T1,0m, T0,5m e Classe A) em Boqueirão e Patos, tomou-se como base as medidas de evaporação diárias e efetuou-se regressões lineares, a fim de encontrar as relações entre esses tanques e o tanque padrão. Para tanto, considerou-se três períodos: período úmido e frio (P<sub>frio</sub>), período quente (P<sub>quente</sub>) e o período completo (P<sub>total</sub>). Na tabela 4.10 são apresentados os coeficientes de tanque (K<sub>p</sub>), os erros padrão de estimativa (EPE), e os coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) de cada tanque evaporimétrico para Boqueirão, nos períodos mencionados. Observa-se que no P<sub>frio</sub>, os coeficientes K<sub>p</sub> de todos os tanques foram relativamente elevados (T1,0m e T0,5m = 0,98; TCA = 0,90). Isto está associado a um menor déficit de umidade do ar, devido a maior concentração de vapor d'água na atmosfera, já que tratava-se do período chuvoso. Deste modo, a evaporação nos tanques T1,0m, T0,5m e TCA, mostrou-se bem próxima daquela observada no tanque padrão. Estes resultados também indicam que, durante o período frio o K<sub>p</sub> do tanque Classe A, foi bem maior do que o valor tradicionalmente usado 0,70. Por outro lado, verifica-se na Tabela 4.10 que no P<sub>quente</sub>, enquanto os coeficientes K<sub>p</sub> dos tanques de 1,0m e 0,5m de profundidade foram iguais a 0,97 e 0,95, o K<sub>p</sub> do tanque Classe A foi igual a 0,79. Ou seja, a medida em que o ar e a água dos tanques começaram a esquentar e o déficit de umidade do ar aumentar, os efeitos sobre o tanque Classe A foram mais acentuados do que nos demais tanques. Para ter-se idéia da dispersão dos dados de cada tanque em relação ao padrão, são apresentadas para Boqueirão, nas Figuras 4.195 a 4.206, as relações para cada período mencionado. Observa-se que no P<sub>frio</sub>, os tanques T1,0m e T0,5m apresentaram praticamente o mesmo ajustamento dos pontos em relação a reta 1:1, e o mesmo coeficiente de determinação (R<sup>2</sup> = 0,98). O tanque Classe A também apresentou um bom ajustamento neste período com R<sup>2</sup> = 0,96. Já para o P<sub>quente</sub> e o P<sub>total</sub>, o tanque - T1,0m foi o que apresentou o melhor ajustamento, e o Classe A, o que apresentou maior dispersão dos dados em relação a reta 1:1. Verifica-se também, que o tanque Classe A, nos três períodos, apresentou sobrestimação dos pontos, e que ao ser aplicado o fator 0,70, este passou a apresentar subestimação. Portanto, vê-se que o uso do fator 0,70 no período frio e úmido, leva a um erro muito maior do que àquele do dado bruto.

Tabela 4.8. Coeficientes de tanque (Kp), determinação (R<sup>2</sup>) e erro padrão de estimativa (EPE) mensal, para o período de abril a dezembro de 2002 em Patos.

Mês	T1,0m			T0,5m			TCA		
	Kp	R <sup>2</sup>	EPE	Kp	R <sup>2</sup>	EPE	Kp	R <sup>2</sup>	EPE
Abril	0,98	0,95	0,20	0,98	0,97	0,14	0,92	0,94	0,21
Mai	0,99	0,97	0,18	0,97	0,96	0,20	0,93	0,97	0,18
Junho	1,00	0,97	0,17	1,00	0,97	0,17	0,91	0,93	0,27
Julho	0,97	0,94	0,33	0,99	0,98	0,21	0,80	0,93	0,34
Agosto	0,98	0,96	0,18	0,99	0,94	0,22	0,81	0,71	0,47
Setembro	0,96	0,94	0,32	0,94	0,90	0,41	0,77	0,80	0,58
Outubro	0,94	0,96	0,19	0,96	0,97	0,18	0,78	0,87	0,35
Novembro	0,91	0,92	0,35	0,93	0,93	0,33	0,76	0,86	0,46
Dezembro	0,91	0,95	0,33	0,92	0,93	0,39	0,76	0,81	0,66
Média	0,96	-	0,25	0,96	-	0,25	0,83	-	0,39

Tabela 4.9. Diferença entre a evaporação mensal de cada tanque em relação ao tanque padrão ( $\Delta E$ ) e erro relativo ER, no período de abril de 2002 a fevereiro de 2003 em Patos.

Mês	T1,0m		T0,5m		TCA		TCA x 0,70	
	$\Delta E$ (mm)	ER (%)						
Abril	2,8	1,6	3,1	1,8	14,3	8,5	-40,3	-24,0
Mai	1,1	0,7	4,4	2,9	12,0	7,9	-36,9	-24,4
Junho	0,1	0,1	0,2	0,1	14,2	9,6	-34,3	-23,3
Julho	6,0	3,1	2,6	1,3	49,8	25,5	-23,8	-12,2
Agosto	6,0	2,5	3,1	1,3	56,6	24,0	-31,1	-13,2
Setembro	10,4	4,4	14,9	6,3	72,0	30,3	-21,0	-8,8
Outubro	18,0	6,6	11,4	4,1	75,4	27,5	-29,5	-10,7
Novembro	25,9	10,3	19,1	7,6	80,1	31,9	-19,3	-7,7
Dezembro	20,9	9,3	18,9	8,4	71,9	32,1	-16,8	-7,5
Janeiro	14,0	7,1	12,7	6,4	58,6	29,7	-18,1	-9,2
Fevereiro	12,3	7,4	8,1	4,8	44,4	26,5	-19,2	-11,5
Média	10,7	4,8	8,9	4,1	49,9	23,0	-26,4	-13,9
Total	117,5	-	98,3	-	549,1	-	-290,2	-

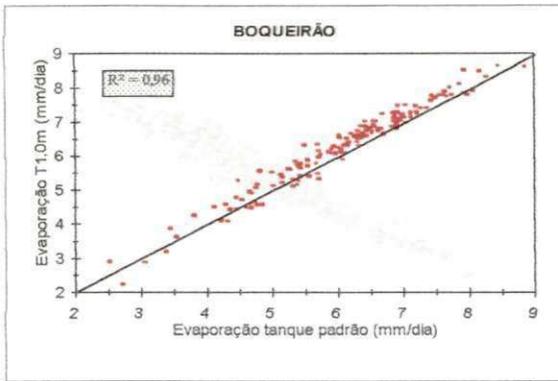


Figura 4.199. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o período quente em Boqueirão.

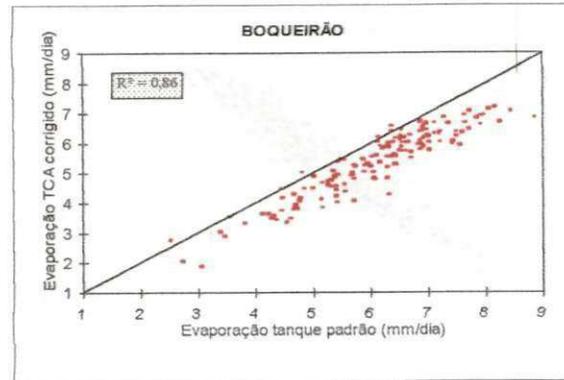


Figura 4.202. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA corrigido, para o período quente em Boqueirão.

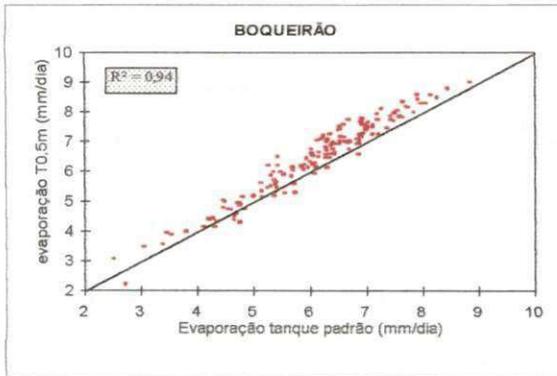


Figura 4.200. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o período quente em Boqueirão.

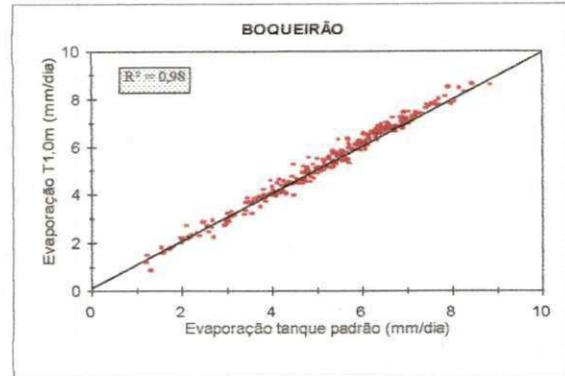


Figura 4.203. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para todo o período em Boqueirão.

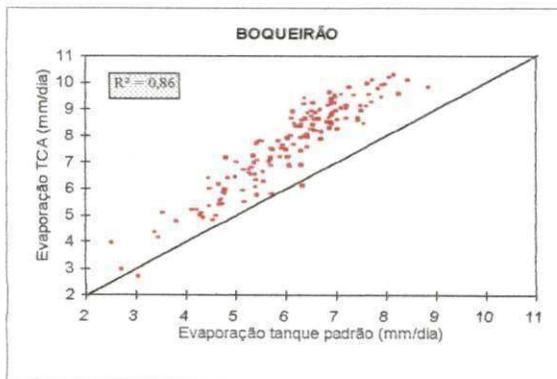


Figura 4.201. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o período quente em Boqueirão.

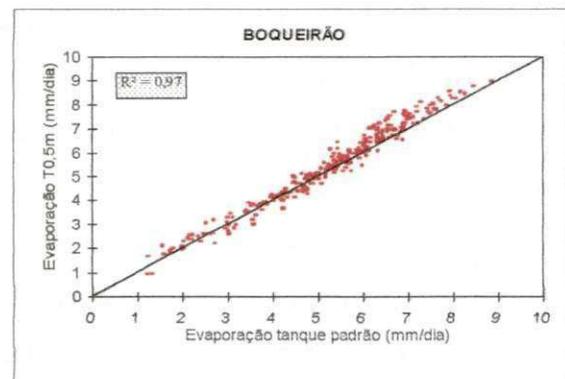


Figura 4.204. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para todo o período em Boqueirão.

Tabela 4.10. Coeficiente de tanque (Kp), erro padrão de estimativa (EPE) e coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) para os períodos frio (Pfrio), quente (Pquente) e total (Ptotal) em Boqueirão.

Tanque	Pfrio			Pquente			Ptotal		
	Kp	EPE	R <sup>2</sup>	Kp	EPE	R <sup>2</sup>	Kp	EPE	R <sup>2</sup>
T1,0m	<b>0,98</b>	0,19	0,98	0,97	0,22	0,96	0,97	0,21	0,98
T0,5m	<b>0,98</b>	0,22	0,98	0,95	0,28	0,94	0,96	0,27	0,97
TCA	<b>0,90</b>	0,28	0,96	<b>0,79</b>	<b>0,45</b>	0,86	<b>0,81</b>	<b>0,49</b>	0,91

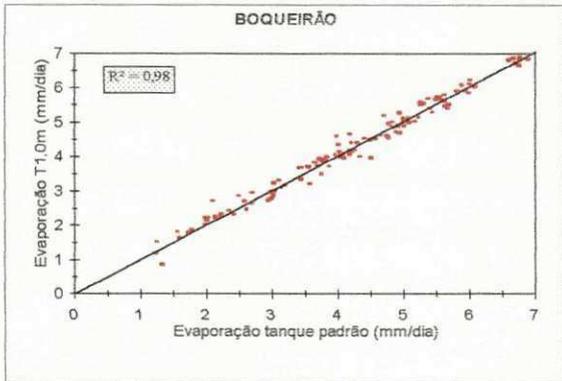


Figura 4.195. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o período frio em Boqueirão.

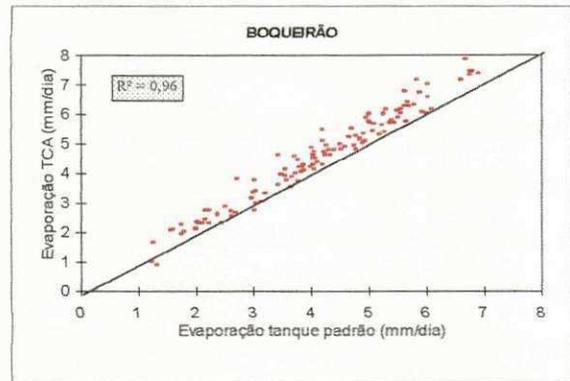


Figura 4.197. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o período frio em Boqueirão.

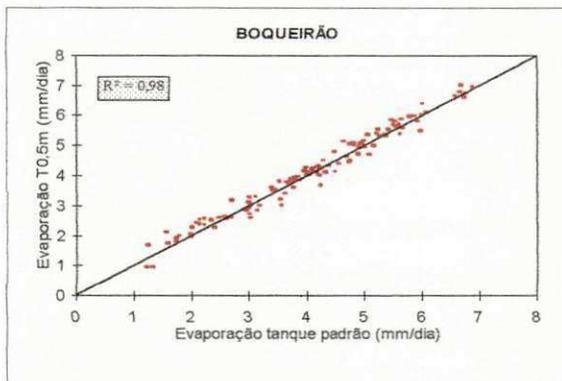


Figura 4.196. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o período frio em Boqueirão.

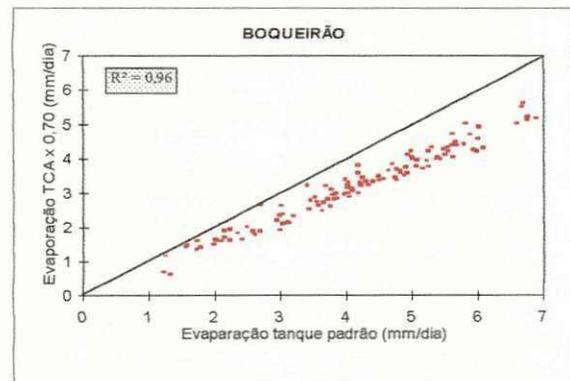


Figura 4.198. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA corrigido, para o período frio em Boqueirão.

bom ajustamento dos pontos em relação a reta 1:1, com coeficientes de determinação iguais ( $R^2 = 0,97$ ). O tanque Classe A também apresentou um bom ajustamento neste período com  $R^2 = 0,95$ . No período quente, os tanques T1,0m e T0,5m apresentaram também um bom ajustamento dos pontos, com o mesmo coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,94$ ), embora tenha havido uma pequena sobrestimação. Por outro lado, o tanque Classe A nesse período, apresentou uma considerável sobrestimativa dos pontos em relação a reta 1:1, e coeficiente de determinação  $R^2 = 0,88$ . Considerando todo o período, o tanque que apresentou o melhor ajustamento dos pontos em relação a reta 1:1, foi T0,5m, com  $R^2 = 0,97$ , seguido do T1,0m com  $R^2 = 0,96$ , ambos melhores do que o tanque Classe A, que apresentou maior dispersão dos dados e  $R^2 = 0,88$ . Verifica-se ainda, que nos três períodos, o tanque Classe A apresentou uma sobrestimação dos pontos em relação a reta 1:1 e ao aplicar-se o fator 0,70 passou a apresentar uma subestimação. Para se ter idéia da performance de cada tanque evaporimétrico (T1,0m, T0,5m e Classe A) em relação ao tanque padrão para cada mês do período de abril a dezembro de 2002, são apresentados em anexos estas relações para Boqueirão e Patos.

Tabela 4.11. Coeficiente de tanque ( $K_p$ ), erro padrão de estimativa e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), para o período frio, período quente e todo o período em Patos.

Tanque	Pfrio			Pquente			Ptotal		
	$K_p$	EPE	$R^2$	$K_p$	EPE	$R^2$	$K_p$	EPE	$R^2$
T1,0m	<b>0,99</b>	0,18	0,97	0,94	0,36	0,94	0,95	0,34	0,96
T0,5m	<b>0,98</b>	0,18	0,97	0,95	0,36	0,94	0,96	0,32	0,97
TCA	<b>0,92</b>	0,22	0,95	<b>0,78</b>	<b>0,52</b>	0,88	<b>0,80</b>	<b>0,61</b>	0,88

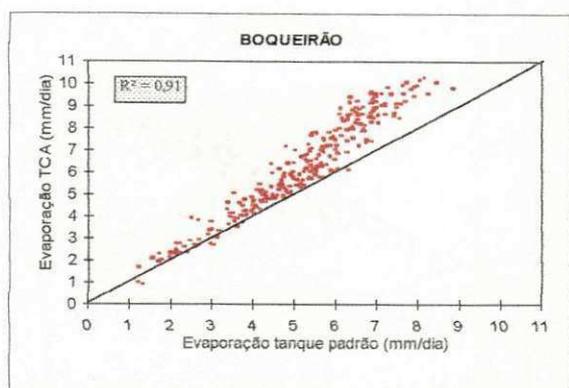


Figura 4.205. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para todo o período em Boqueirão.

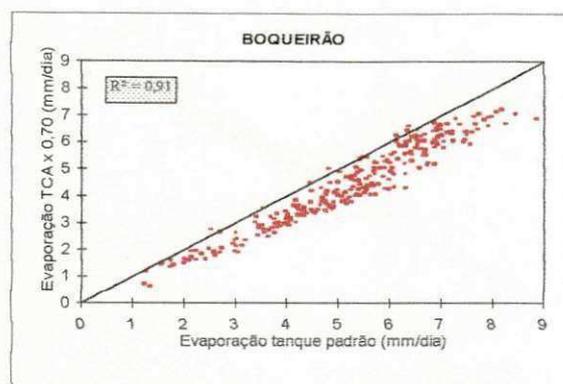


Figura 4.206. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA corrigido, para todo o período em Boqueirão.

Na tabela 4.11 é apresentado o coeficiente de tanque ( $K_p$ ), o erro padrão de estimativa (EPE), e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para cada tanque evaporimétrico em Patos, durante os períodos  $P_{frio}$ ,  $P_{quente}$  e  $P_{total}$ . Observa-se que da mesma forma que ocorreu em Boqueirão, no  $P_{frio}$ , os coeficientes  $K_p$  de todos os tanques foram elevados ( $T1,0m = 0,99$ ;  $T0,5m = 0,98$ ;  $TCA = 0,92$ ). Isso ocorreu devido ao menor déficit de umidade do ar e conseqüentemente, maior concentração de vapor d'água na atmosfera, já que tratava-se do período chuvoso, favorecendo para que a evaporação nos tanques  $T1,0m$ ,  $T0,5m$  e  $TCA$ , fossem bem próxima daquela observada no tanque padrão. Conforme indicam os dados apresentados na Tabela 4.11, no período frio o  $K_p$  do tanque Classe A, foi bem maior do que o valor normalmente adotado 0,70. Verifica-se ainda que no  $P_{quente}$ , enquanto os coeficientes  $K_p$  dos tanques  $T1,0m$  e  $T0,5m$  foram iguais a 0,94 e 0,95, respectivamente, o  $K_p$  do tanque Classe A foi igual a 0,78 e no  $P_{total}$ , enquanto o  $K_p$  do  $T1,0m$  foi igual a 0,95 e do  $T0,5m$  igual a 0,96, o do Classe A foi igual a 0,80. Com isso, constata-se que tanto em Boqueirão como em Patos, em nenhum dos períodos estudados, o valor do coeficiente do tanque Classe A assumiu o valor tradicionalmente adotado de 0,70, principalmente no período frio e úmido. Desta forma, o menor coeficiente foi observado no período quente, em Boqueirão 0,79 e Patos 0,78. Nas Figuras 4.207 a 4.218 são apresentadas para Patos, as relações de cada tanque evaporimétrico em relação ao padrão, para os três períodos mencionados. Verifica-se que no período frio, os tanques  $T1,0m$  e  $T0,5m$  apresentaram um

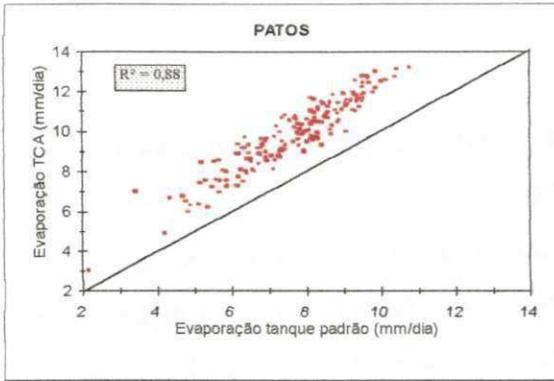


Figura 4.213. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o período quente em Patos.

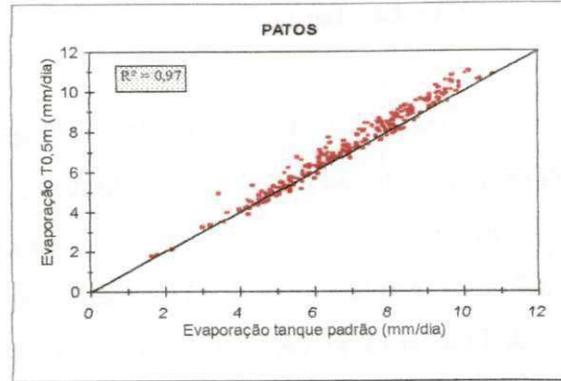


Figura 4.216. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para todo o período em Patos.

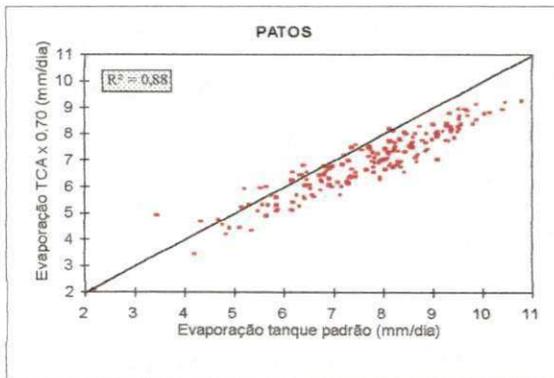


Figura 4.214. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA corrigido, para o período quente em Patos.

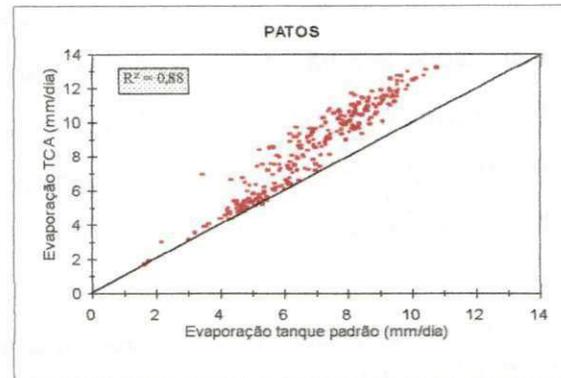


Figura 4.217. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para todo o período em Patos.

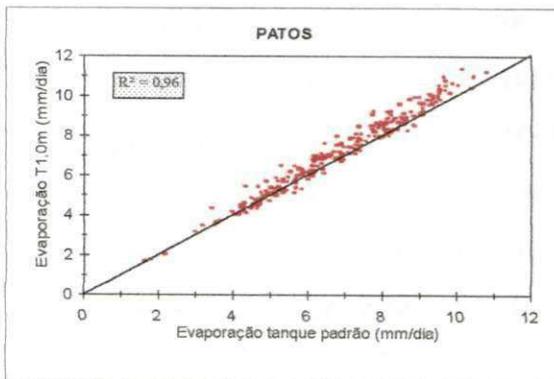


Figura 4.215. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para todo o período em Patos.

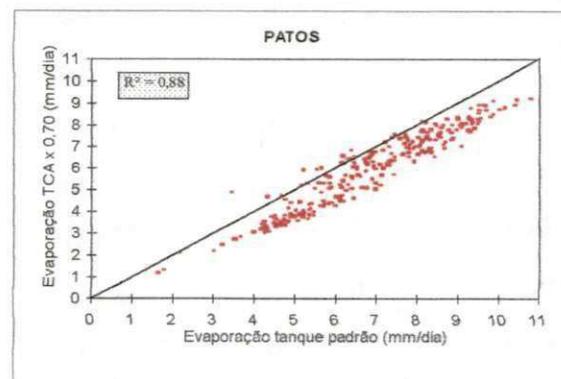


Figura 4.218. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA corrigido, para todo o período em Patos.

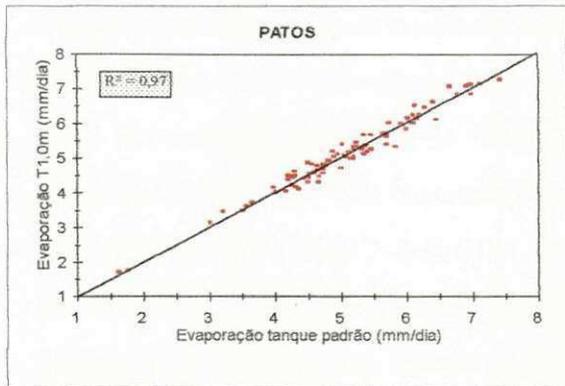


Figura 4.207. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o período frio em Patos.

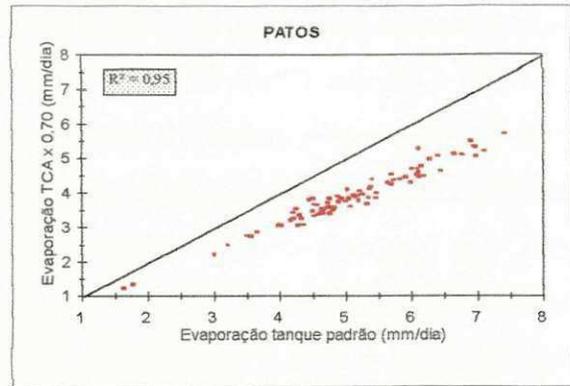


Figura 4.210. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA corrigido, para o período frio em Patos.

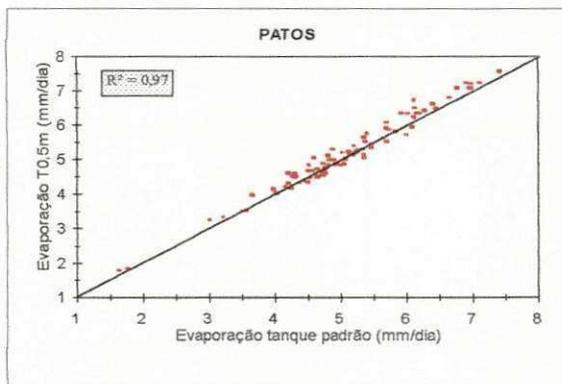


Figura 4.208. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o período frio em Patos.

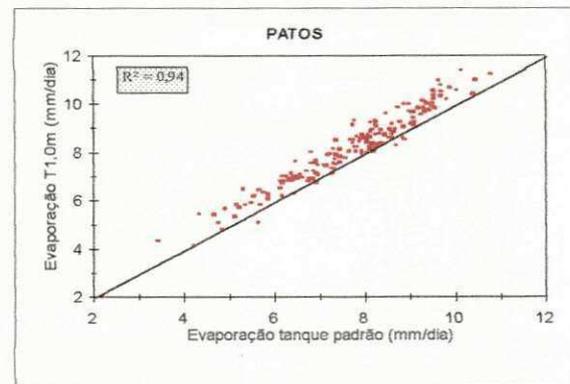


Figura 4.211. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para o período quente em Patos.

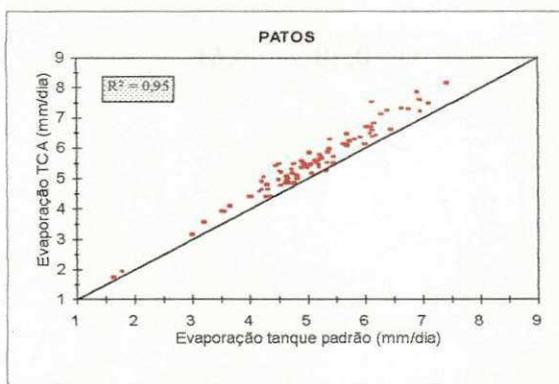


Figura 4.209. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o período frio em Patos.

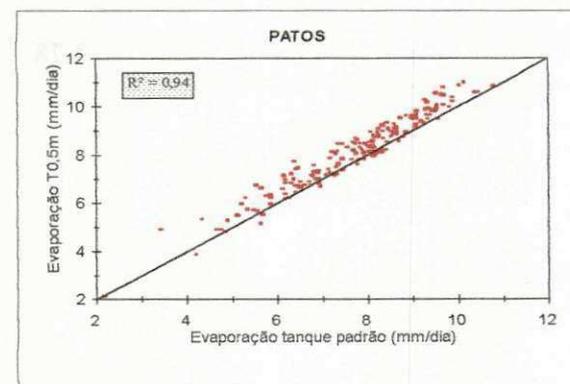


Figura 4.212. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para o período quente em Patos.

Em Patos, a exemplo do que foi observado em Boqueirão, conforme indica a Tabela 4.13, os dados brutos do tanque Classe A apenas não diferiram do padrão, nos meses mais frios e úmidos (maio e junho). Em relação aos dados do TCAC, exceto o mês de setembro, todos os outros meses estudados diferiram do padrão. Estes resultados indicam que também em Patos, a correção efetuada nos dados brutos do tanque Classe A, multiplicando-se os mesmos por 0,70, não resulta em dados de evaporação corretos, pelo contrário, na maioria dos meses o erro vai produzir uma subestimativa da evaporação, que parece ser maior em locais mais quentes. Da mesma forma que em Boqueirão, o método de Dunnet (5%) mostrou que em Patos, nos períodos frio e quente, tanto os dados brutos do tanque Classe A, como os corrigidos, diferiram do padrão.

Tabela 4.13. Análise estatística dos dados médios mensais diários de evaporação dos tanques evaporimétricos, para os períodos frio e quente em Patos.

Mês	Tanque				
	Padrão	T1,0m	T0,5m	TCA	TCAC
<b>Abril</b>	5,59 (a)	5,68 (a)	5,69 (a)	6,07 (b)	4,25 (b)
<b>Mai</b>	4,86 (a)	4,90 (a)	5,01 (a)	5,25 (a)	3,67 (b)
<b>Junho</b>	4,91 (a)	4,91 (a)	4,92 (a)	5,38 (a)	3,77 (b)
<b>Julho</b>	6,30 (a)	6,49 (a)	6,38 (a)	7,91 (b)	5,53 (b)
<b>Agosto</b>	7,61 (a)	7,81 (a)	7,71 (a)	9,44 (b)	6,61 (b)
<b>Setembro</b>	7,93 (a)	8,28 (a)	8,43 (a)	10,33 (b)	7,23 (a)
<b>Outubro</b>	8,84 (a)	9,42 (a)	9,21 (a)	11,27 (b)	7,89 (b)
<b>Novembro</b>	8,37 (a)	9,24 (a)	9,01 (a)	11,04 (b)	7,73 (b)
<b>Dezembro</b>	7,22 (a)	7,90 (a)	7,83 (a)	9,54 (b)	6,68 (b)
<b>Período frio</b>	5,12 (a)	5,16 (a)	5,20 (a)	5,56 (b)	3,89 (b)
<b>Período quente</b>	7,71 (a)	8,18 (a)	8,09 (a)	9,91 (b)	6,94 (b)

#### 4.5 – Análise Estatística

Na tabela 4.12 é apresentada a análise estatística efetuada sobre as médias mensais de evaporação, bem como, para o período frio e período quente, para cada tanque evaporimétrico em Boqueirão. As médias seguidas da mesma letra não diferem entre si. Portanto, apenas os métodos do tanque Classe A (TCA) e Classe A corrigido (TCAC) diferiram do padrão pelo teste de Dunnet (5%). Os resultados indicam que, apenas nos meses de maio e junho, os dados brutos do tanque Classe A não diferiram do padrão, porém, ao serem corrigidos, passaram a diferir. Ou seja, também aplicando-se este tipo de teste, verifica-se que ao aplicar-se o coeficiente 0,70 aos dados brutos do tanque Classe A, nesses meses, aumenta-se o erro e subestima-se a evaporação. O método de Dunnet (5%) mostrou que nos meses em que os dados do tanque Classe A foi corrigido, em Boqueirão, em apenas quatro deles, esta correção produziu dados que não diferiram do padrão. Para os períodos frio e quente, o método de Dunnet mostrou que tanto os dados brutos do tanque Classe A, como os corrigidos, diferiram do padrão, o que não ocorreu com os tanques T1,0m e T0,5m, os quais, em nenhum dos meses estudados diferiram do padrão, como pode ser observado na Tabela 4.12.

Tabela 4.12. Análise estatística dos dados médios mensais diários de evaporação dos tanques evaporimétricos, para os períodos frio e quente em Boqueirão.

Mês	Tanque				
	Padrão	T1,0m	T0,5m	TCA	TCAC
<b>Abril</b>	5,65 (a)	5,73 (a)	5,76 (a)	6,38 (b)	4,46 (b)
<b>Maio</b>	4,00 (a)	4,06 (a)	4,05 (a)	4,29 (a)	3,00 (b)
<b>Junho</b>	3,12 (a)	3,14 (a)	3,20 (a)	3,39 (a)	2,38 (b)
<b>Julho</b>	3,80 (a)	3,91 (a)	3,84 (a)	4,35 (b)	3,05 (a)
<b>Agosto</b>	4,77 (a)	4,77 (a)	4,81 (a)	5,81 (b)	4,07 (a)
<b>Setembro</b>	5,91 (a)	6,22 (a)	6,27 (a)	7,75 (b)	5,43 (a)
<b>Outubro</b>	6,36 (a)	6,63 (a)	6,81 (a)	8,08 (b)	5,66 (b)
<b>Novembro</b>	6,97 (a)	7,15 (a)	7,37 (a)	8,72 (b)	6,11 (a)
<b>Dezembro</b>	6,57 (a)	6,77 (a)	6,97 (a)	8,21 (b)	5,74 (b)
<b>Período frio</b>	4,14 (a)	4,20 (a)	4,21 (a)	4,60 (b)	3,22 (b)
<b>Período quente</b>	6,11 (a)	6,30 (a)	6,44 (a)	7,71 (b)	5,40 (b)

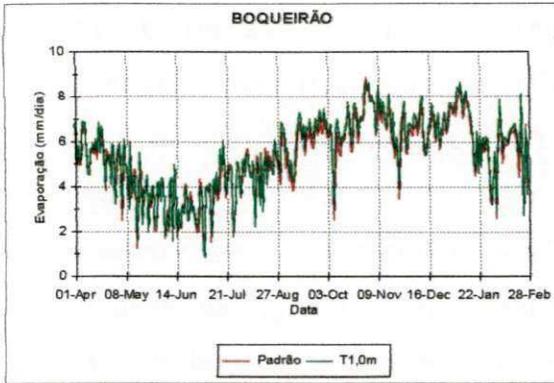


Figura 4.219. Evolução da evaporação dos tanques padrão e T1,0m em Boqueirão, ao longo do período estudado.

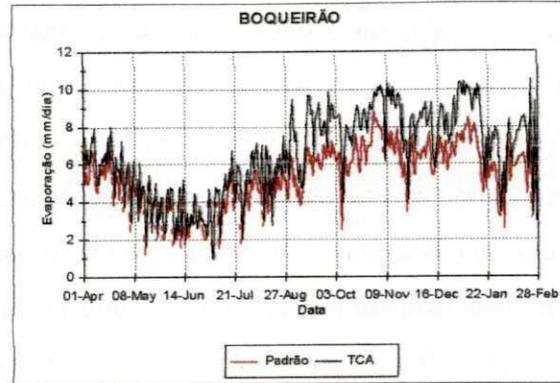


Figura 4.221. Evolução da evaporação dos tanques padrão e TCA em Boqueirão, ao longo do período estudado.

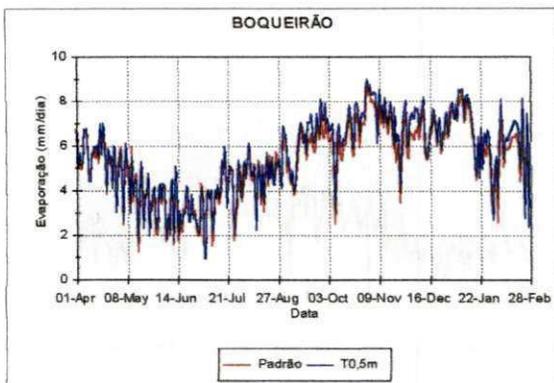


Figura 4.220. Evolução da evaporação dos tanques padrão e T0,5m em Boqueirão, ao longo do período estudado.

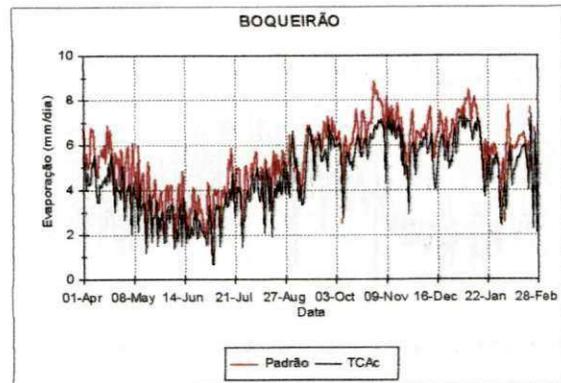


Figura 4.222. Evolução da evaporação dos tanques padrão e TCA corrigido em Boqueirão, ao longo do período estudado.

Observa-se nas Figura 4.223 e 4.224 que da mesma forma como ocorreu em Boqueirão, em Patos, os tanques T1,0m e T0,5m também tiveram comportamentos bem semelhantes ao tanque padrão, com valores de evaporação muito próximos nos meses mais frios e úmidos. No entanto, de outubro a dezembro, meses mais quentes, apresentaram valores pouco mais elevados de evaporação do que o tanque padrão. Certamente, essa maior diferença comparada a Boqueirão, está associada às condições climáticas de Patos, especialmente, a menor umidade do ar e as elevadas temperaturas do ar e da água dos tanques. Já na Figura 4.225, verifica-se que o tanque Classe A, mesmo nos meses frios e úmidos, em alguns dias apresentou valores de evaporação superiores aos do tanque padrão, e maiores ainda, nos

#### 4.6 – Análise da evaporação para todo o período estudado

Nas Figuras 4.219 a 4.222 são apresentadas as evaporações diárias observadas em cada tanque evaporimétrico (T1,0m; T0,5m e TCA) e no tanque padrão, ao longo de todos os meses estudados em Boqueirão. Observa-se na Figura 4.219 que a evaporação do tanque T1,0m durante todo o período estudado, teve praticamente o mesmo comportamento da evaporação do tanque padrão, apresentando valores bem próximos, principalmente nos meses mais frios e úmidos, e pequenas diferenças nos meses mais quentes. A mesma situação é observado para o tanque T0,5m (Figura 4.220), exceto em alguns dias em particular dos meses mais quentes, em que houve uma diferença um pouco maior em relação ao padrão. Por outro lado, quando observa-se a Figura 4.221, verifica-se que a evaporação indicada no tanque Classe A, exceto nos meses frios e úmidos, sobrestimou a evaporação do tanque padrão. Isto provavelmente ocorreu, devido às condições de exposição e constituição metálica do tanque Classe A, bem diferentes daquelas observadas no tanque padrão, os quais, são bem mais representativos dos açudes. Deste modo, ao aplicar-se o fator 0,70 as leituras do Classe A (Figura 4.222), verifica-se que esse passou a subestimar o padrão durante todo o período estudado. Ou seja, como mostraram as análises efetuadas anteriormente, a única situação em que a medida da evaporação do tanque Classe A se aproximou daquela observada no tanque padrão, ocorreu quando a disponibilidade de energia foi baixa, as temperaturas do ar e da água dos tanques foram menores e a umidade relativa do ar alta. Porém, como normalmente não se considera os dados brutos do Classe A, e sim esses multiplicado por 0,70, logo em nenhum momento tem-se valores corretos de evaporação. Verifica-se que a partir do mês de agosto, a curva da evaporação do tanque Classe A, começou a se afastar da curva de evaporação do tanque padrão. Isso coincidiu exatamente, com as mudanças das condições climáticas locais: aumento da incidência de radiação solar, e conseqüentemente, da temperatura do ar e da água dos tanques; maior déficit de saturação do ar, devido a diminuição da umidade relativa; e aumento da velocidade do vento.

#### 4.7. Avaliação dos coeficientes de tanque (Kp)

##### 4.7.1 – Avaliação dos coeficientes de tanque (Kp) para Boqueirão

Para avaliar a aplicação dos coeficientes médios dos tanques T1,0m; T0,5m e TCA, obtidos com base nos dados do período quente em Boqueirão, nas Figuras 4.227 e 4.228 são apresentadas as curvas da evaporação diária para os meses de janeiro e fevereiro de 2003, observadas nesses tanques e no tanque padrão. As curvas correspondentes aos tanques T1,0m; T0,5m e TCA, representam os valores diários de evaporação desses tanques multiplicados por seus respectivos coeficientes médios (Kp). A aplicação dos referidos coeficientes médios do período quente aos dados de evaporação de janeiro e fevereiro/2003, está ligado ao fato de que esses meses são quentes. Observa-se através das curvas da Figura 4.227 que no mês de janeiro em Boqueirão, as evaporações dos tanques T1,0m e T0,5m corrigidas pelos coeficientes 0,97 e 0,95, respectivamente, apresentam uma ótima concordância com a evaporação do tanque padrão. Já com relação as curvas de evaporação do tanque Classe A corrigidas pelos fatores 0,79 e 0,70, verifica-se na Figura 4.228 que, a curva corrigida pelo fator 0,79, embora não tenha a mesma aproximação em relação a curva do padrão que àquelas dos tanques T1,0m e T0,5m (Figura 4.227), mostra melhor ajustamento do que a curva do tanque Classe A corrigida pelo fator usualmente adotado de 0,70, a qual, apresenta-se razoavelmente defasada e subestimando a evaporação observada no tanque Padrão. Em termos de erro relativo, os tanques T1,0m e T0,5m tiveram erros respectivamente de apenas -0,8 e -1,0%, e o tanque Classe A corrigido pelo fator 0,79 teve um erro de 1,3%, entretanto, o tanque Classe A corrigido pelo fator 0,70 apresentou um erro cerca de oito vezes maior, -10,3%. Isso indica que em termos de diferença na lâmina de água evaporada em relação ao padrão, enquanto os tanques T1,0m, T0,5m e TCA corrigido por 0,79, apresentaram diferenças durante o mês de janeiro de -1,6; -2,0 e 2,6 mm, respectivamente, o TCA corrigido por 0,70 apresentou uma diferença muito maior (-21,0 mm). Situação semelhante é verificada quando se observa as curvas de evaporação de fevereiro de 2003, apresentadas nas Figuras 4.229 e 4.230. Ressalva-se que, no caso do tanque Classe A, devido ter chovido bem no final de janeiro e início de fevereiro, caracterizando este período como úmido, houve uma defasagem da curva do tanque classe A corrigida por 0,79, subestimando a evaporação do padrão entre 1 e 11 de fevereiro. Isso se justifica porque o coeficiente para o período úmido é

meses mais quentes. Conforme pode ser observado ainda na Figura 4.225, já a partir de julho, a defasagem entre a curva de evaporação do tanque Classe A em relação a curva do tanque padrão, tornou-se bem maior. Ou seja, como em Patos a umidade do ar é menor, as temperaturas do ar e da água dos tanques são elevadas e a disponibilidade de energia é maior do que em Boqueirão, os efeitos sobre o tanque Classe A foram bem mais acentuados. Observa-se também na Figura 4.226, que a exemplo do que ocorreu em Boqueirão, ao aplicar-se o fator 0,70 a leitura do Classe A, esse passa a subestimar a evaporação do padrão durante todo o período, e nos meses mais frios e úmidos, o erro cometido torna-se ainda maior. Diante do exposto, nos períodos úmidos e frios, seria mais correto usar os dados brutos do tanque Classe A, ao invés de corrigidos pelo fator 0,70, visto que o erro cometido seria menor.

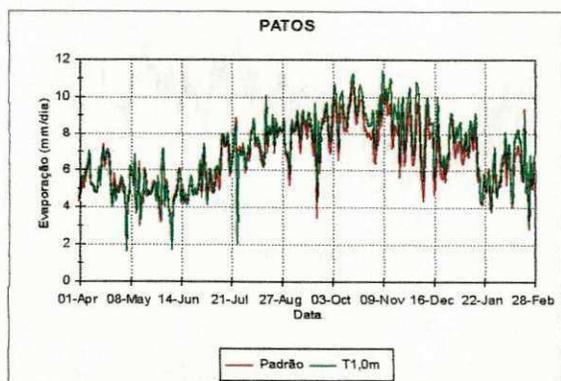


Figura 4.223. Evolução da evaporação dos tanques padrão e T1,0m em Patos, ao longo do período estudado.

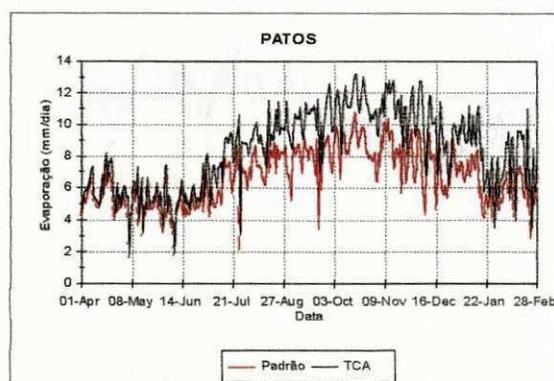


Figura 4.225. Evolução da evaporação dos tanques padrão e TCA em Patos, ao longo do período estudado.

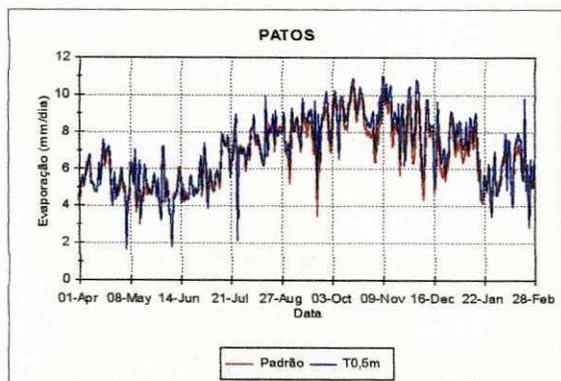


Figura 4.224. Evolução da evaporação dos tanques padrão e T0,5m em Patos, ao longo do período estudado.

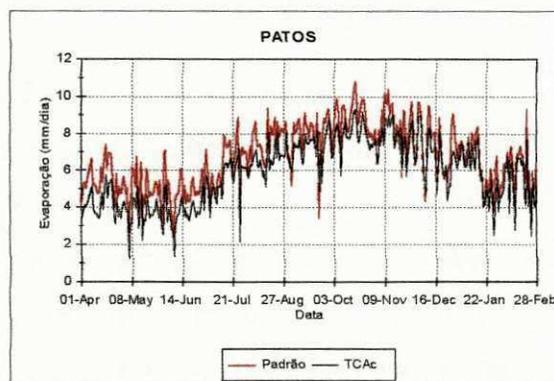


Figura 4.226. Evolução da evaporação dos tanques padrão e TCAC em Patos, ao longo do período estudado.

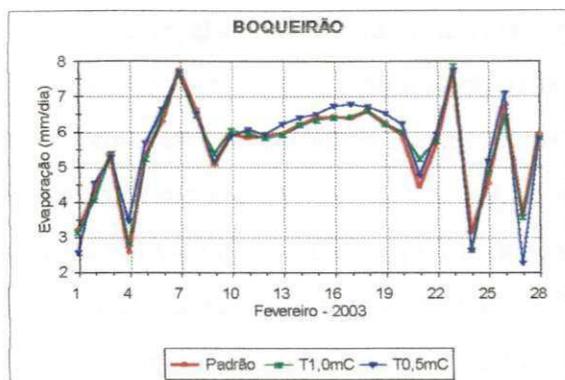


Figura 4.229. Evolução da evaporação do tanque padrão e das evaporações corrigidas dos tanques T1,0m e T0,5m, para fevereiro de 2003 em Boqueirão.

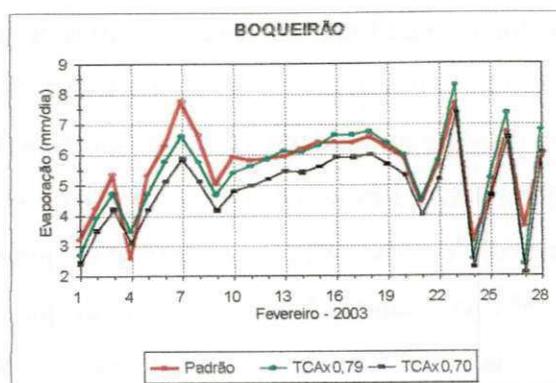


Figura 4.230. Evolução da evaporação do tanque padrão e da evaporação do tanque TCA corrigida pelos fatores 0,79 e 0,70, para fevereiro de 2003 em Boqueirão.

Tabela 4.14. Coeficientes de tanque ( $K_p$ ) observados para janeiro e fevereiro de 2003 e o médio calculado para o período quente em Boqueirão.

Mês	$K_p$			$K_p$ (Pquente)		
	T1,0m	T0,5m	TCA	T1,0m	T0,5m	TCA
Janeiro	0,98	0,96	0,78	0,97	0,95	0,79
Fevereiro	0,96	0,93	0,80			

#### 4.7.2 – Avaliação dos coeficientes de tanque ( $K_p$ ) para Patos

Nas Figuras 4.231 a 4.234 são apresentadas para Patos, as evaporações diárias observadas nos tanques T1,0m; T0,5m e TCA, multiplicadas por seus respectivos coeficientes médios ( $K_p$ ), referentes também ao período quente, bem como, a evaporação do tanque padrão para os meses de janeiro e fevereiro de 2003. Conforme pode ser observado nas curvas da Figura 4.231, no mês de janeiro de 2003 em Patos, as evaporações diárias dos tanques T1,0m e T0,5m corrigidas pelos coeficientes 0,94 e 0,95, respectivamente, a exemplo do que ocorreu em Boqueirão, também apresentaram uma ótima concordância com a curva de evaporação do tanque padrão. Por outro lado, analisando a Figura 4.232, verifica-se que a curva da evaporação do tanque Classe A corrigida pelo coeficiente médio para o período quente, 0,78, embora tenha apresentado uma pequena sobrestimação no início do mês e

um pouco maior. Em termos de erro relativo, durante o mês de fevereiro de 2003, os tanques T1,0m e T0,5m apresentaram erros respectivamente de 0,5 e 1,9%, e o tanque Classe A corrigido pelo fator 0,79 teve um erro de -1,7%, já o tanque Classe A corrigido pelo fator 0,70 apresentou um erro maior do que em janeiro, -12,9%. Deste modo, as diferenças das lâminas de água evaporada nos tanques T1,0m, T0,5m e TCA corrigido por 0,79, em relação ao tanque padrão em fevereiro de 2003, foram respectivamente de 0,8; 3,0 e -2,7 mm. Porém, no TCA corrigido por 0,70, a diferença em relação ao padrão foi de -20,2 mm, o que na prática representou um erro maior do que em janeiro/2003, haja visto que fevereiro teve apenas 28 dias. Na Tabela 4.14 comparando-se os coeficientes de tanque obtidos a partir da razão entre a evaporação observada nos tanques T1,0m, T0,5m e TCA e o tanque padrão, aos respectivos coeficientes médios obtidos para o período quente, verifica-se que há uma boa aproximação destes coeficientes. Isso mostra que o uso dos coeficientes médios de tanque ( $K_p$ ) obtidos para o período quente aplicados aos dados de janeiro e fevereiro, proporcionaram boas determinações de evaporações principalmente, àquelas baseadas nos dados dos tanques T1,0m e T0,5m.

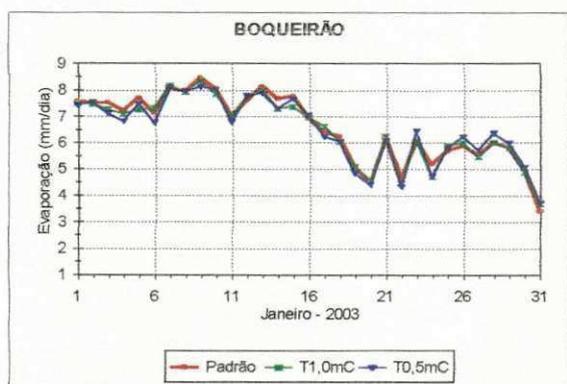


Figura 4.227. Evolução da evaporação do tanque padrão e das evaporações corrigidas dos tanques T1,0m e T0,5m, para janeiro de 2003 em Boqueirão.

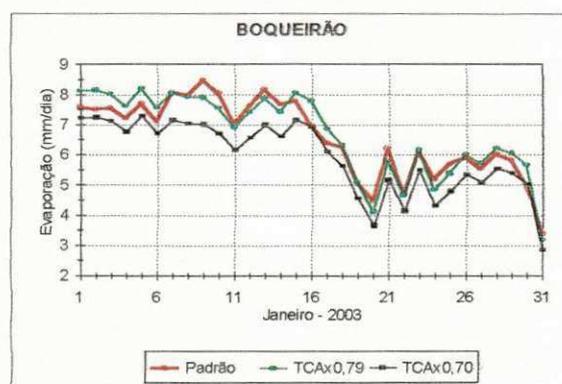


Figura 4.228. Evolução da evaporação do tanque padrão e da evaporação do tanque TCA corrigida pelos fatores 0,79 e 0,70, para janeiro de 2003 em Boqueirão.

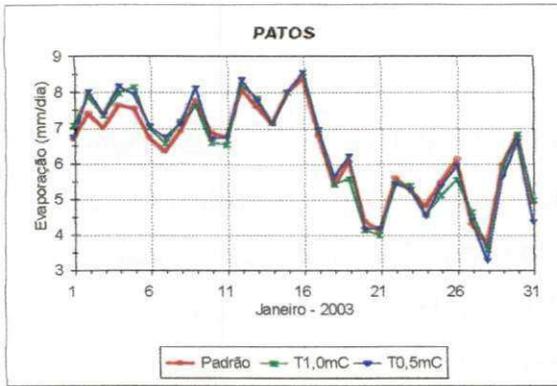


Figura 4.231. Evolução da evaporação do tanque padrão e das evaporações corrigidas dos tanques T1,0m e T0,5m, para janeiro de 2003 em Patos.

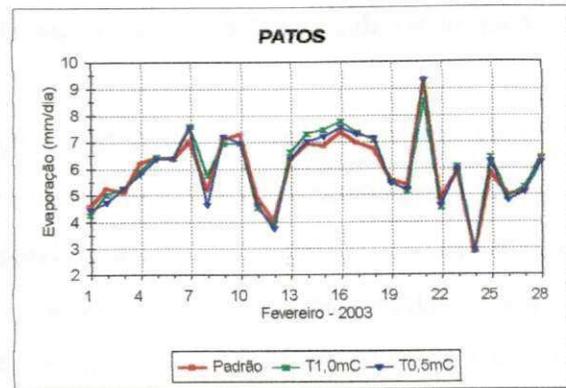


Figura 4.233. Evolução da evaporação do tanque padrão e das evaporações corrigidas dos tanques T1,0m e T0,5m, para fevereiro de 2003 em Patos.

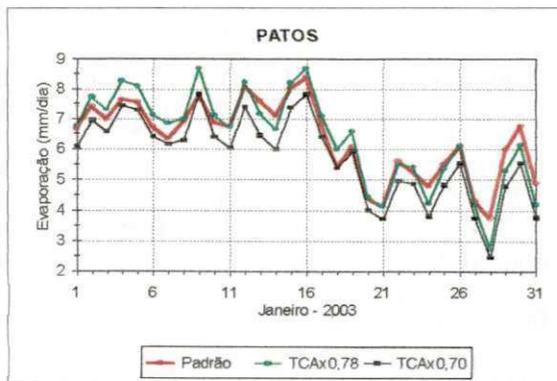


Figura 4.232. Evolução da evaporação do tanque padrão e da evaporação do tanque TCA corrigida pelos fatores 0,79 e 0,70, para janeiro de 2003 em Patos.

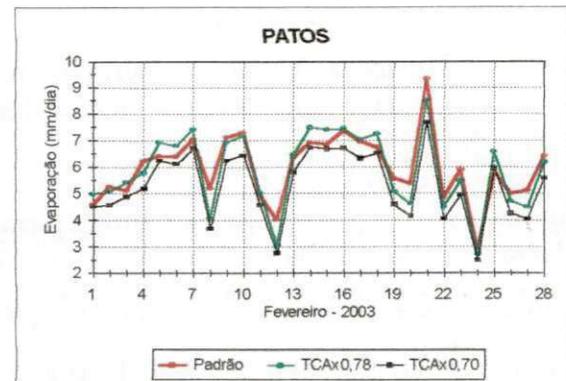


Figura 4.234. Evolução da evaporação do tanque padrão e da evaporação do tanque TCA corrigida pelos fatores 0,79 e 0,70, para fevereiro de 2003 em Patos.

Tabela 4.15. Coeficientes de tanque ( $K_p$ ) observados para janeiro e fevereiro de 2003 e o médio calculado para o período quente em Patos.

Mês	$K_p$			$K_p$ (Pquente)		
	T1,0m	T0,5m	TCA	T1,0m	T0,5m	TCA
Janeiro	0,93	0,94	0,77	0,94	0,95	0,78
Fevereiro	0,93	0,95	0,79			

subestimação no final, no restante do mês, teve uma razoável aproximação em relação a curva do padrão, o que não ocorreu com a curva da evaporação do tanque Classe A corrigida pelo fator usualmente adotado de 0,70, que subestimou o mês todo a evaporação observada no tanque Padrão. Em termos de erro relativo, os tanques T1,0m e T0,5m apresentaram erros de apenas 0,7 e 1,1%, respectivamente, o tanque Classe A corrigido pelo fator 0,78 teve um erro de 0,8%, já o tanque Classe A corrigido pelo fator 0,70, apresentou um erro cerca de doze vezes maior, -9,5%. Ou seja, em termos de erro na lâmina de água evaporada, enquanto os tanques T1,0m, T0,5m e TCA corrigido por 0,78, apresentaram diferenças em relação ao tanque padrão durante o mês de janeiro de 1,3; 2,2 e 1,6 mm, respectivamente, o TCA corrigido por 0,70 apresentou uma diferença bem maior, -18,8 mm. Nas Figuras 4.233 e 4.234, observa-se que fevereiro de 2003 comparado a janeiro de 2003, tanto os tanques T1,0m e T0,5m corrigidos pelos fatores 0,94 e 0,95, como o tanque Classe A corrigido pelo fator 0,78, tiveram melhor ajustamento das curvas de evaporação em relação ao tanque padrão, embora, a curva de evaporação do tanque Classe A corrigido pelo fator 0,78, em alguns dias tenha apresentado subestimação em relação a evaporação do tanque padrão. Essa defasagem ocorreu, devido a ocorrência de precipitação nestes dias, e conseqüentemente, aumento da umidade do ar, caracterizando um período úmido. Justificando-se mais uma vez, o porque do coeficiente para o período úmido ser um pouco maior. Em termos de erro relativo, durante o mês de fevereiro de 2003 em Patos, os tanques T1,0m e T0,5m apresentaram erros respectivamente de apenas 0,9 e -0,4%, e o tanque Classe A corrigido pelo fator 0,79 de -1,3%, enquanto o tanque Classe A corrigido pelo fator 0,70 apresentou um erro cerca nove vezes maior (-11,5%). Com isso, as diferenças na lâmina de água evaporada nos tanques T1,0m, T0,5m e TCA corrigido por 0,78, em relação ao padrão em fevereiro de 2003 foram de 1,5; -0,7 e -2,2 mm, respectivamente. Porém, o TCA corrigido por 0,70 apresentou uma diferença em relação ao padrão de -19,2 mm. Analisando a Tabela 4.15 observa-se que os coeficientes de tanque obtidos a partir da razão entre a evaporação observada nos tanques T1,0m, T0,5m e TCA e o padrão, e os respectivos coeficientes médios obtidos para o período quente, apresentaram uma boa aproximação. Também em Patos, o uso dos coeficientes médios de tanque ( $K_p$ ) obtidos para o período quente, ao serem aplicados aos dados observados nos tanques T1,0m e T0,5m, em janeiro e fevereiro de 2003, a exemplo de Boqueirão, proporcionaram boas determinações de evaporação.

Na tabela 4.18 são apresentadas as equações obtidas por regressão linear múltipla entre o Kp e os parâmetros temperatura do ar, velocidade do vento a 2m e umidade do ar, para o período de abril a dezembro de 2002 em Patos. As equações apresentadas na Tabela 4.18, foram utilizadas para calcular os Kp dos tanques T1,0m; T0,5m e TCA, para os meses de janeiro e fevereiro de 2003, em Patos, apresentados na Tabela 4.19. Comparado-se os Kp obtidos pela razão tanque padrão/tanque (T1,0m; T0,5m; TCA) aos observados nesses meses, verifica-se que apenas o Kp do tanque Classe A, calculado para fevereiro diferiu de forma razoável (0,04). Isso também, a exemplo do que foi observado para Boqueirão, estar associado aos efeitos de ocorrência de chuva e diminuição de temperatura nesse mês. Durante fevereiro de 2003 houve ocorrências de chuvas no início, na metade e no final do mês, enquanto em janeiro as chuvas só tiveram início a partir do dia 19.

Tabela 4.18. Equações obtidas por regressão linear múltipla para os tanques T1,0m; T0,5m e TCA em Patos, com base nos dados climáticos (T, U e UR), observados de abril a dezembro de 2002.

Tanque	Equação obtida	R <sup>2</sup>	EPE
<b>T1,0m</b>	$K_p = 1,6093 - 0,02473T + 0,00124U + 0,00045UR$	0,89	0,013
<b>T0,5m</b>	$K_p = 1,7561 - 0,01900T - 0,01461U - 0,00330UR$	0,89	0,010
<b>TCA</b>	$K_p = 0,7910 - 0,04597T + 0,05836U + 0,01662UR$	0,84	0,033

Tabela 4.19. Coeficientes de tanque (Kp) observados e calculados para os meses de janeiro e fevereiro de 2003 em Patos.

Mês	Kp observado			Kp calculado		
	T1,0m	T0,5m	TCA	T1,0m	T0,5m	TCA
<b>Janeiro</b>	0,93	0,94	0,77	0,93	0,94	0,78
<b>Fevereiro</b>	0,93	0,95	0,79	0,95	0,96	0,83

#### 4.8 – Estimativa dos coeficientes de tanque (Kp)

Na tabela 4.16 são apresentadas as equações obtidas por regressão linear múltipla entre o Kp e os parâmetros temperatura do ar, velocidade do vento a 2m e umidade do ar, para o período de abril a dezembro de 2002. Tomando como base as equações apresentadas na Tabela 4.16 calculou-se o Kp para os tanques T1,0m; T0,5m e TCA, para os meses de janeiro e fevereiro de 2003, em Boqueirão, os quais são apresentados na Tabela 4.17 e comparados com os obtidos diretamente pela razão tanque padrão/tanque (T1,0m; T0,5m; TCA) nesses meses. Verifica-se que os coeficientes calculados em janeiro e fevereiro para o tanque Classe A, foram os que mais diferiram dos observados (0,03 a mais). Isso deve estar associado aos efeitos climáticos, devido a ocorrência de chuva e diminuição de temperatura nestes meses.

Tabela 4.16. Equações obtidas por regressão linear múltipla para os tanques T1,0m; T0,5m e TCA em Boqueirão, com base nos dados climáticos (T, U e UR), observados de abril a dezembro de 2002.

Tanque	Equação obtida para o Kp	R <sup>2</sup>	EPE
<b>T1,0m</b>	$Kp = 0,9985 + 0,00399T - 0,03232U - 0,00075UR$	0,78	0,007
<b>T0,5m</b>	$Kp = 1,4353 - 0,00454T - 0,04392U - 0,00344UR$	0,74	0,013
<b>TCA</b>	$Kp = 1,1647 + 0,00783T - 0,13403U - 0,00314UR$	0,77	0,034

Observação: T representa a temperatura média mensal do ar (°C); U a velocidade média mensal do vento (m/s); e UR a umidade relativa do ar média mensal (%), todos medidos a 2m acima da superfície.

Tabela 4.17. Coeficientes de tanque (Kp) observados e calculados para os meses de janeiro e fevereiro de 2003 em Boqueirão.

Mês	Kp observado			Kp calculado		
	T1,0m	T0,5m	TCA	T1,0m	T0,5m	TCA
<b>Janeiro</b>	0,98	0,96	0,78	0,97	0,94	0,81
<b>Fevereiro</b>	0,96	0,93	0,80	0,97	0,95	0,83

80,2 mm; MG&H, 215,0 mm; Linacre, -192,3 mm; Snyder, -74 mm; e Kohler, 121,7 mm. Em termos de total para onze meses (Tabela 4.20), os modelos que mais se aproximaram da evaporação medida no tanque padrão, foram o de Kohler e Snyder, cujos erros relativos foram 4,2 e -5,9%, respectivamente, enquanto o pior desempenho foi o do método de Linacre, que subestimou a medida em 16,9%.

Tabela 4.20. Totais mensais da evaporação medidas e estimadas para o período de abril/2002 a fevereiro/2003 em Boqueirão.

Mês	Medida (mm)	Estimativas da evaporação (mm)					
		Penman	MBE	MG&H	Linacre	Snyder	Kohler
<b>Abr</b>	169,6	140,1	171,2	163,0	122,4	149,5	127,1
<b>Mai</b>	123,9	129,1	151,2	136,9	100,1	109,6	118,5
<b>Jun</b>	93,5	104,5	120,0	101,1	72,3	89,5	98,0
<b>Jul</b>	118,0	122,6	146,7	125,0	98,6	124,6	114,6
<b>Ago</b>	148,0	131,3	160,5	138,2	113,6	143,9	123,1
<b>Set</b>	177,3	161,2	200,3	213,5	157,9	171,1	221,1
<b>Out</b>	196,1	161,3	199,1	257,3	175,4	179,6	223,7
<b>Nov</b>	209,2	158,0	194,3	258,8	177,3	187,7	217,9
<b>Dez</b>	204,3	180,1	221,7	249,9	177,9	186,0	229,5
<b>Jan</b>	204,9	181,5	219,0	209,4	167,5	201,2	215,8
<b>Fev</b>	156,4	154,5	181,4	184,0	134,2	152,6	186,7
<b>Pfrio</b>	505,0	496,2	589,1	526,0	393,5	473,3	458,3
<b>Pquente</b>	1296,1	1127,8	1376,3	1511,1	1103,8	1222,1	1417,8
<b>Ptotal</b>	1801,1	1624,0	1965,4	2037,1	1497,3	1695,4	1876,0

#### 4.9 – Estimativas de evaporação

Visando avaliar as performances dos métodos de Penman (1948), balanço de energia - (MBE), GANGOPADHYAYA et al. (1966) e HOUNAM (1973) - (MG&H), LINACRE (1993) - (Linacre), método de SNYDER (1992) - (Snyder) e KOHLER et al. (1955) - (Kohler), serão comparados a seguir, para os períodos frio e quente, as estimativas obtidas a partir desses métodos às medidas de evaporação do tanque padrão.

##### 4.9.1 – Estimativas da evaporação para Boqueirão

Comparando as estimativas de evaporação obtidas com os métodos citados a medida observada no tanque padrão de 20m<sup>2</sup>, durante o período frio em Boqueirão, Figuras 4.235 a 4.240, observa-se que a curva de estimativa da evaporação que apresentou melhor ajustamento em relação a medida foi a de MG&H (Figura 4.237), seguida da de Snyder (Figura 4.239), que apesar de ter subestimado um pouco, apresentou uma boa concordância com a medida. Verifica-se ainda que os métodos de Penman (Figura 4.235) e Kohler (Figura 4.240), apresentaram comportamento semelhante em relação a medida, já a estimativa pelo MBE (Figura 4.236) ao longo do período frio sobrestimou a medida, enquanto a de Linacre (Figura 4.238) subestimou. Em termos de erro relativo para o período frio em Boqueirão foram verificados os seguintes erros: Penman, -1,7%; MBE, 16,7%; MG&H, 4,2%; Linacre, -22,1%; Snyder, -6,3%; e Kohler, -9,3%. As diferenças entre a evaporação estimada e observada foram as seguintes: Penman, -8,8 mm; MBE, 84,1 mm; MG&H, 21,0 mm; Linacre, -111,5%; Snyder, -31,8; e Kohler, -46,8 mm. Para o período quente, observa-se através das Figuras 4.241 a 4.246 que os métodos de Penman (Figura 4.241), Linacre (Figura 4.244) e Snyder (Figura 4.245) subestimaram a medida, com o método de Penman apresentando maior subestimação, enquanto os métodos MBE (Figura 4.242), MG&H (Figura 4.243) e Kohler (Figura 4.246) sobrestimaram. Analisando em conjunto as Figuras 4.241 a 4.246, constata-se que a exemplo do que foi observado no período frio, embora algumas curvas de estimativas da evaporação tenham boa concordância com a curva da medida, a que apresentou melhor ajustamento foi a de Snyder. Para o período quente foram observados os seguintes erros relativos: Penman, -13,0%; MBE, 6,2%; MG&H, 16,6%; Linacre, -14,8%; Snyder, -5,7%; e Kohler, 9,4%. As diferenças entre estimativas e medida foram: Penman, -168,3 mm; MBE,

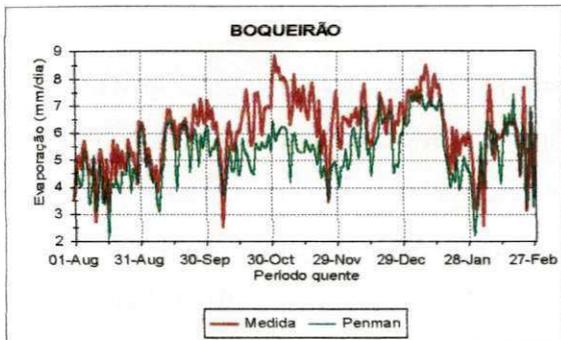


Figura 4.241. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método de Penman para o período quente em Boqueirão.

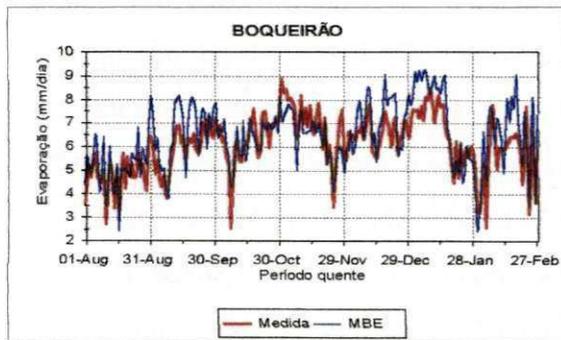


Figura 4.242. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método do balanço de energia para o período quente em Boqueirão.

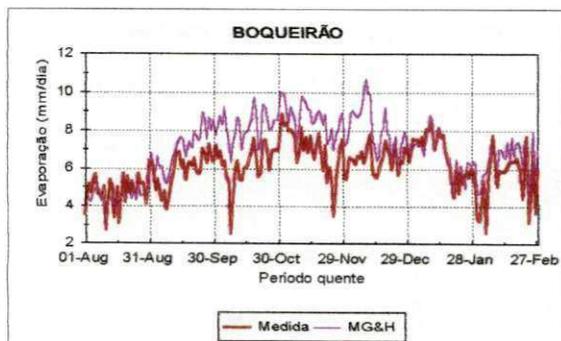


Figura 4.243. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método de Gangopadhyaya et al. (1966) e Hounam (1973) para o período quente em Boqueirão.

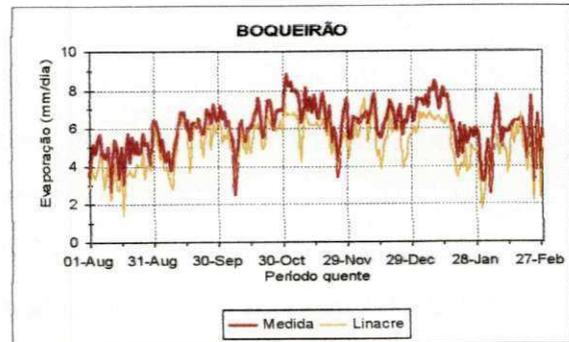


Figura 4.244. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método de Linacre (1993) para o período quente em Boqueirão.

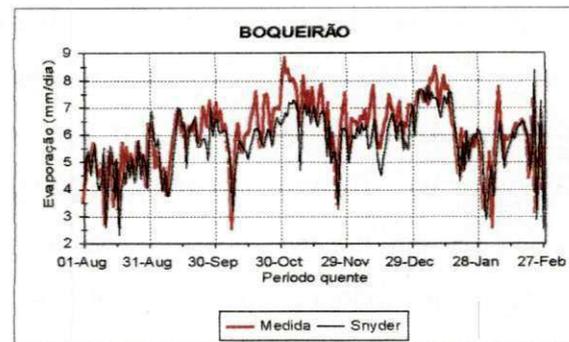


Figura 4.245. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método de Snyder (1992) para o período quente em Boqueirão.

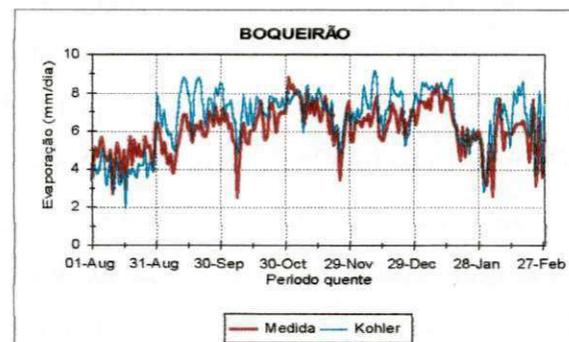


Figura 4.246. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método de Kohler et al. (1955) para o período quente em Boqueirão.

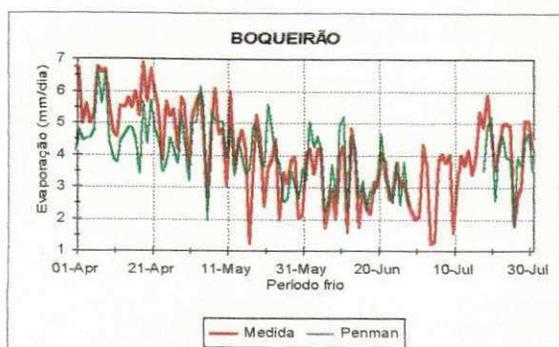


Figura 4.235. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método de Penman para o período frio em Boqueirão.

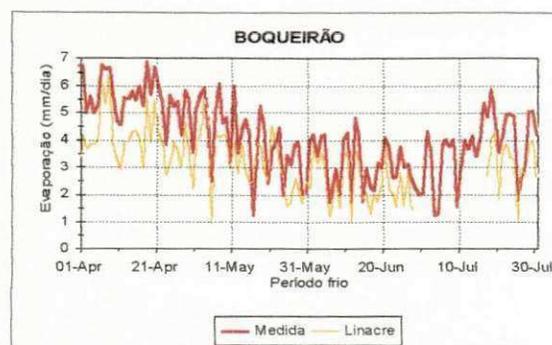


Figura 4.238. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método de Linacre (1993) para o período frio em Boqueirão.

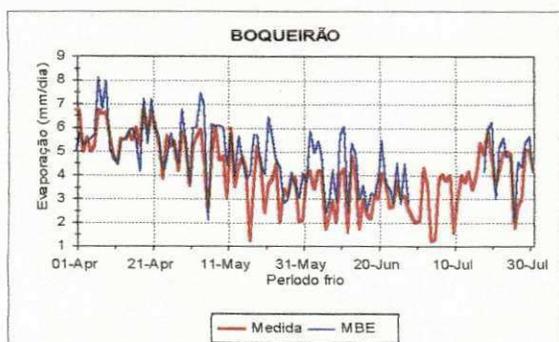


Figura 4.236. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método do balanço de energia para o período frio em Boqueirão.

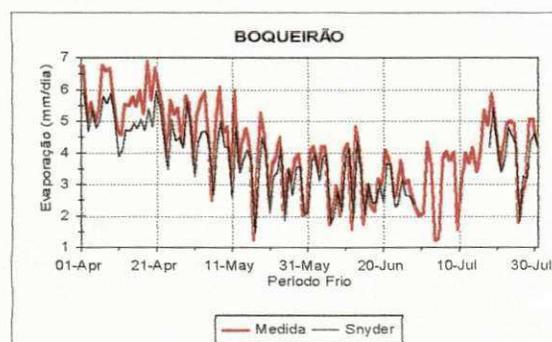


Figura 4.239. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método de Snyder (1992) para o período frio em Boqueirão.

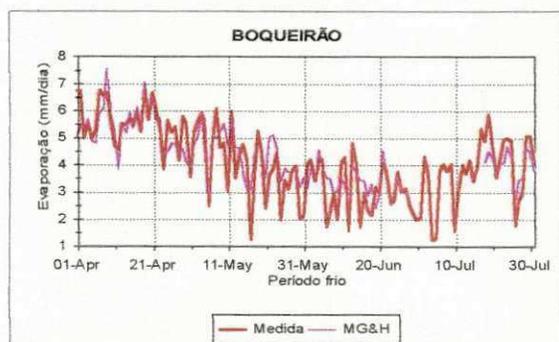


Figura 4.237. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método de Gangopadhyaya et al. (1966) e Hounam (1973) para o período frio em Boqueirão.

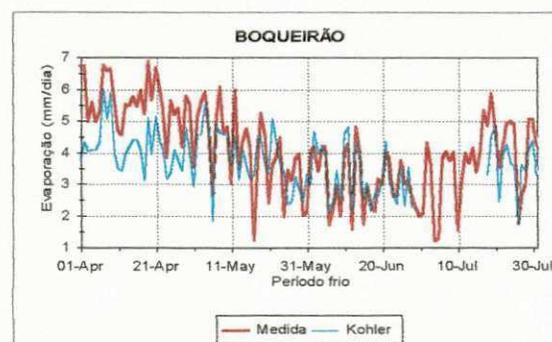


Figura 4.240. Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Kohler et al. (1955) para o período frio em Boqueirão.

Tabela 4.21. Totais mensais da evaporação medidas e estimadas para o período de abril/2002 a fevereiro/2003 em Patos.

Mês	Medida (mm)	Estimativas de evaporação (mm)					
		Penman	BEM	MG&H	Linacre	Snyder	Kohler
<b>Abr</b>	167,7	152,2	176,0	148,4	132,3	154,8	136,8
<b>Mai</b>	150,8	154,2	181,7	154,6	123,9	136,5	139,4
<b>Jun</b>	147,3	125,0	154,0	135,6	104,5	132,9	114,4
<b>Jul</b>	195,3	152,8	198,4	190,4	145,1	187,6	215,7
<b>Ago</b>	236,0	183,1	249,1	218,5	180,5	214,1	247,0
<b>Set</b>	237,9	201,6	265,9	214,1	197,0	228,4	252,0
<b>Out</b>	274,1	-	-	-	-	-	-
<b>Nov</b>	251,1	214,1	281,7	243,1	212,7	244,2	257,3
<b>Dez</b>	223,9	201,9	258,6	196,3	189,5	230,0	240,9
<b>Jan</b>	197,2	203,0	241,0	193,5	175,7	209,7	248,1
<b>Fev</b>	167,5	176,2	205,6	198,3	153,0	172,2	222,3
<b>Pfrio</b>	465,8	431,4	511,7	438,6	360,7	424,1	390,6
<b>Pquente</b>	1782,9	1332,6	1700,3	1454,2	1253,6	1486,2	1683,3
<b>Ptotal</b>	2248,7	1764,0	2212,0	1892,9	1614,3	1910,3	2073,9

#### 4.9.2 – Estimativas da evaporação para Patos

Nas Figuras 4.247 a 4.252 são comparadas as estimativas da evaporação obtidas pelos vários métodos usados a medida observada no tanque padrão, durante o período frio em Patos. Observa-se que a curva da estimativa da evaporação que apresentou o melhor ajustamento em relação a medida foi a de Snyder (Figura 4.251), seguida da do MBE (Figura 4.248) e Kohler (Figura 4.252). Os métodos de Penman (Figura 4.247) e MG&H (Figura 4.249) ao longo do período frio subestimaram a medida em alguns dias, enquanto o método de Linacre (Figura 4.250) subestimou durante todo o período. Em termos de erro relativo foram observados os seguintes erros: Penman, -7,4%; MBE, 9,9%; MG&H, -5,8%; Linacre, -22,6%; Snyder, -8,9%; e Kohler, -16,1%. Em termos de diferença entre a evaporação estimada e medida para o período frio, observou-se as seguintes diferenças: Penman, -34,4 mm; MBE, 46,0 mm; MG&H, -27,1 mm; Linacre, -105,1%; Snyder, -41,6; e Kohler, -75,1 mm. No período quente em Patos, observa-se que o método de Penman (Figura 4.253) subestimou a medida da evaporação até o final de dezembro de 2002, e a partir daí até o final de fevereiro de 2003, passou a ter uma razoável aproximação, já o método de Linacre (Figura 4.256) subestimou a medida durante todo o período, enquanto os métodos MG&H (Figura 4.255) e Snyder (Figura 4.257) subestimaram em apenas alguns dias, com o método de Snyder apresentando um melhor ajustamento. Os métodos MBE (Figura 4.254) e Kohler (Figura 4.258), embora tenham sobrestimado durante todo o período a medida da evaporação, em alguns dias apresentaram uma razoável aproximação. No período quente foram observados os seguintes erros relativos: Penman, -11,7%; MBE, 12,7%; MG&H, -3,6%; Linacre, -16,9%; Snyder, -1,5%; e Kohler, 11,6%. Observou-se também as seguintes diferenças entre estimativas e medida da evaporação para o período quente: Penman, -176,2 mm; MBE, 191,5 mm; MG&H, -54,6 mm; Linacre, -255,2 mm; Snyder, -22,6 mm; e Kohler, 174,5 mm. Em termos de total para todo o período estudado (Tabela 4.21), os modelos que mais se aproximaram do valor da evaporação medida no tanque padrão, foram o de Snyder, MG&H e Kohler, com erros relativos de -3,3; -4,1 e 5,0%, respectivamente. O pior desempenho, a exemplo do que foi observado em Boqueirão, teve o método de Linacre, que subestimou a medida em 18,2%.

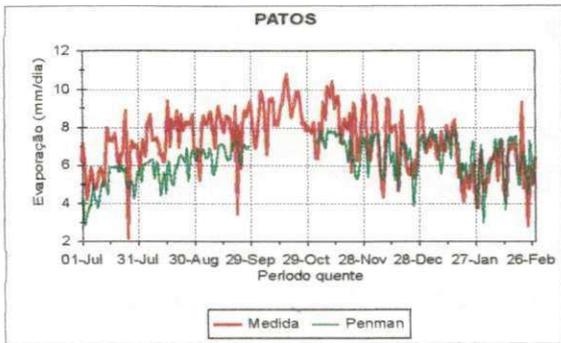


Figura 4.253 Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método de Penman (1948), para o período quente em Patos.

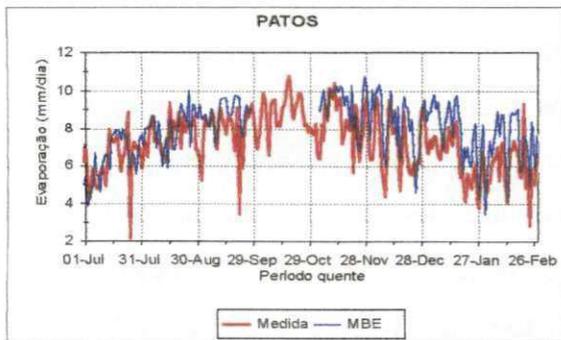


Figura 4.254 Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método do balanço de energia para o período quente em Patos.

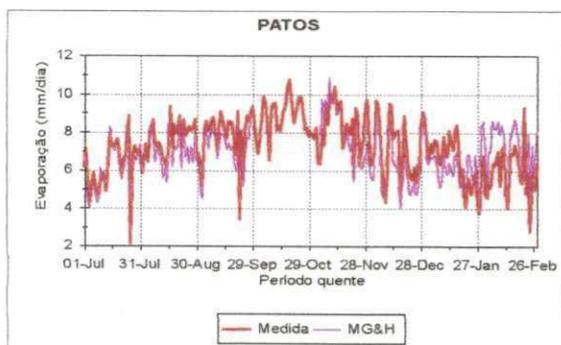


Figura 4.255. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método de Gangopadhyaya et al. (1966) e Hounam (1973), para o período quente em Patos.

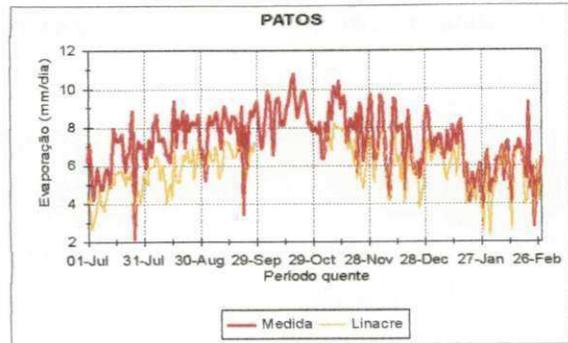


Figura 4.256. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método de Linacre (1993) para o período quente em Patos.

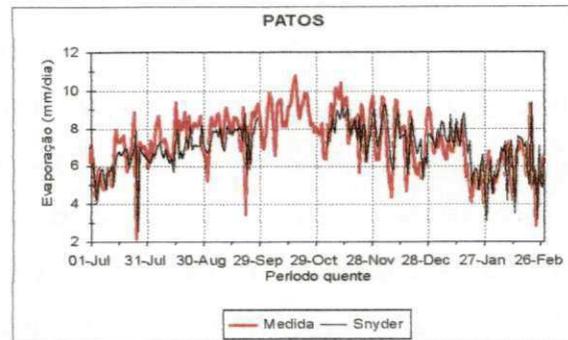


Figura 4.257. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método de Snyder (1992) para o período quente em Patos.

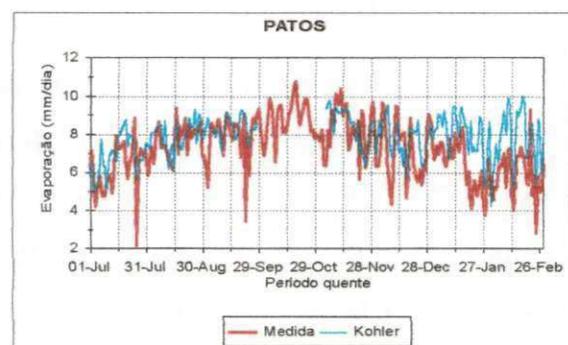


Figura 4.258. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método de Kohler et al. (1955), para o período quente em Patos.

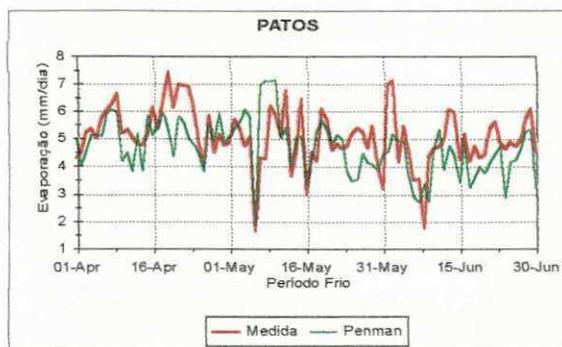


Figura 4.247. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método de Penman (1948), para o período frio em Patos.

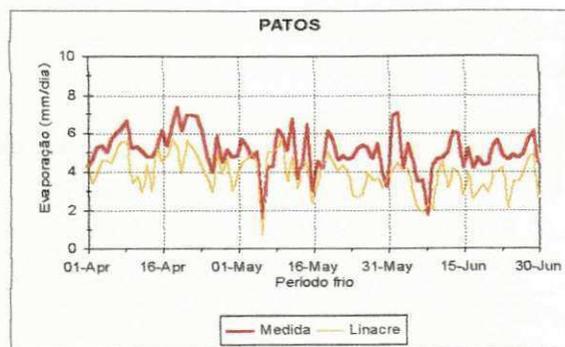


Figura 4.250. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método de Linacre (1993), para o período frio em Patos.

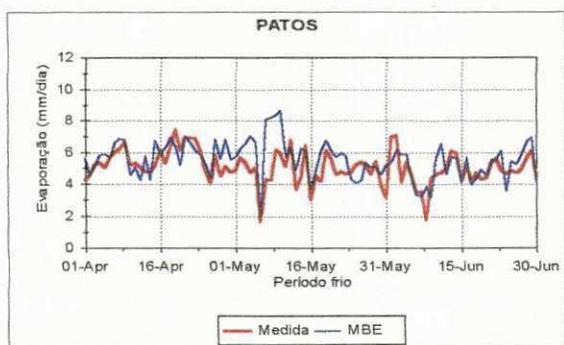


Figura 4.248. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método do balanço de energia para o período frio em Patos.

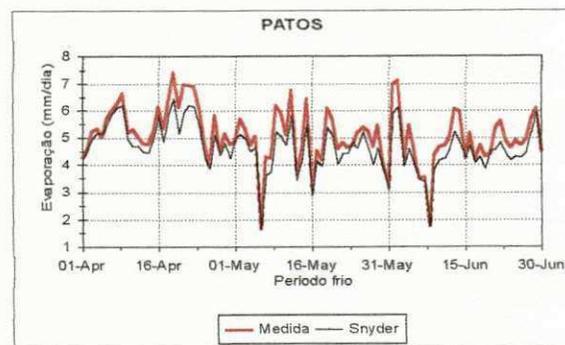


Figura 4.251. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método de Snyder (1992), para o período frio em Patos.

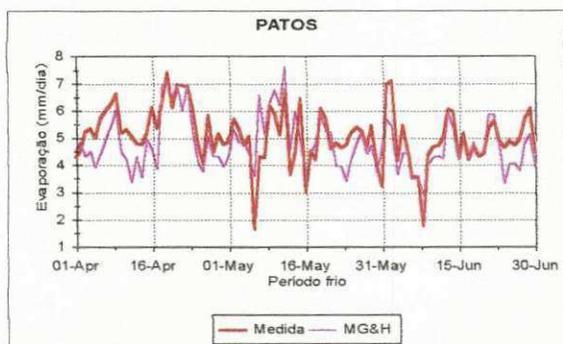


Figura 4.249. Comparação da evaporação medida com a estimada pelo método de Gangopadhyaya et al. (1966) e Hounam (1973) para o período frio em Patos.

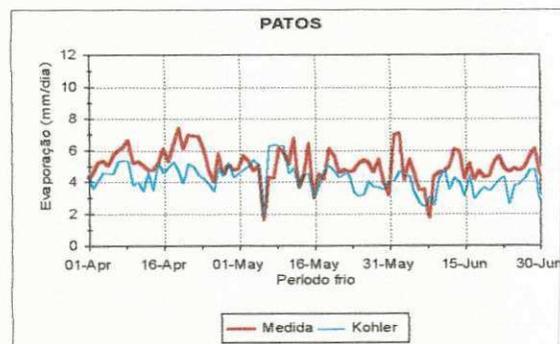


Figura 4.252. Comparação entre medida e estimativa da evaporação obtida pelo método de Kohler et al. (1955) para o período frio em Patos.

Tabela 4.23. Coeficientes de relação entre as medidas de evaporação e os métodos de estimativas para Patos.

Período	Coeficientes de relação medida-modelos para Patos					
	Penman	MBE	MG&H	Linacre	Snyder	Kohler
<b>Ptotal</b>	1,12	0,90	1,04	1,23	1,04	0,99
<b>Púmido</b>	1,00	0,85	0,99	1,18	1,03	0,96
<b>Pseco</b>	1,20	0,92	1,08	1,27	1,05	1,00

#### 4.11 – Evaporação e rebaixamento do nível de água dos açudes

A evolução mensal do impacto da evaporação no rebaixamento do nível d'água dos açudes, ao longo do período experimental, é apresentada nas Figuras 4.259 e 4.260. Observa-se que a evaporação em Boqueirão (Figura 4.259) teve o menor índice no mês de junho (93,5mm) e o maior no mês de novembro (209,2mm), índice bem próximo aos observados em outubro/2002 (196,1mm), dezembro/2002 (204,3mm) e janeiro/2003 (204,9mm). Em termos percentuais, a evaporação média mensal ao longo do experimento (abril/2002 a fevereiro/2003), correspondeu a 56,9% da lâmina d'água rebaixada. Particularmente, no açude Epitácio Pessoa em Boqueirão, no mês de abril de 2002, como ainda não estava em operação a adutora do Cariri, conseqüentemente, o volume de água retirado para consumo era menor, e a precipitação mensal foi de apenas 2,0mm, contribuindo para um maior déficit de saturação do ar, e assim, maior evaporação, a qual, representou 62,8% do rebaixamento do nível de água. Já na Figura 4.260 verifica-se que em Patos, os menores índices de evaporação ocorreram nos meses de junho/2002 (147,3mm) e maio/2002 (150,8mm), e correspondeu a cerca de 53% do rebaixamento do nível da água nesses dois meses, enquanto os maiores índices ocorreram nos meses de outubro/2002 (274,1mm) e novembro/2002 (251,1mm). Em termos percentuais, a evaporação média mensal no período de abril a dezembro de 2002, correspondeu a 65,0% da lâmina d'água rebaixada. Porém, como o açude do Jatobá deixou de fornecer água para o abastecimento a partir do final de 2002, devido a regularização do sistema adutor de Coremas/Mãe D'água, nos meses de janeiro e fevereiro de 2003, a evaporação representou respectivamente 89,6 e 88,1% do rebaixamento do nível da água

#### 4.10 – Relação entre medidas e estimativas da evaporação

As relações entre as medidas de evaporação do tanque padrão e as estimativas obtidas através dos vários modelos utilizados, apresentadas nas Tabelas 4.22 e 4.23, indicam que o método de KOHLER et al. (1955), foi o que apresentou os melhores resultados em termos da razão medida/modelo, com coeficientes iguais em Boqueirão e Patos, nos três períodos considerados: Ptotal (0,99); Púmido (0,96) e Pseco (1,00). No geral, o segundo melhor desempenho foi do método de SNYDER (1992). Porém, o método de Penman (1948) apresentou em Patos a melhor relação (1,00) para o período úmido, e no período seco, um coeficiente de 1,20, valor igual ao obtido para o Observatório de Khartum no Sudão, no período 1960 – 1961, segundo a WMO (1966). Também em Boqueirão no período seco, o método de Penman (1948) apresentou um coeficiente muito próximo (1,18) ao citado pela WMO (1966). Observa-se ainda que enquanto os métodos de MG&H e Linacre em Boqueirão, apresentaram coeficientes iguais para os três períodos citados 0,90 e 1,21, respectivamente, em Patos, apresentaram coeficientes distintos para os três períodos. Isto muito provavelmente, está relacionado as condições climáticas locais. Em Patos o método de MG&H apresentou coeficientes bem próximos dos método de Snyder, e o método de Linacre apresentou os maiores coeficientes para os dois locais.

Tabela 4.22. Coeficientes de relação entre as medidas de evaporação e os métodos de estimativas para Boqueirão.

Período	Coeficientes de relação medida-modelos para Boqueirão					
	Penman	MBE	MG&H	Linacre	Snyder	Kohler
<b>Ptotal</b>	1,09	0,90	0,90	1,21	1,06	0,99
<b>Púmido</b>	0,95	0,81	0,90	1,21	1,03	0,96
<b>Pseco</b>	1,18	0,96	0,90	1,21	1,07	1,00

## 5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Tomando como base os resultados obtidos nesta pesquisa, as seguintes conclusões são apresentadas:

- Devido sua exposição, constituição metálica e pequena profundidade da lâmina d'água, o tanque Classe A, sofreu de forma mais acentuada os efeitos das condições climáticas do que o tanque padrão e tanques tubulares de cimento, com isso, experimentou maior aquecimento durante o período diurno e maior resfriamento durante o período noturno;
- Durante os doze meses de estudo, a evaporação observada no tanque Classe A em Boqueirão e Patos, foi maior do que a evaporação dos demais tanques evaporimétricos, apresentando a maior diferença mensal em relação ao tanque padrão em Boqueirão no mês de setembro de 2002 (31,1%) e em Patos no mês de dezembro de 2002 (32,1%);
- O uso do tradicional coeficiente de tanque de 0,70 como fator de correção da evaporação do tanque Classe A, para estimar a evaporação de açudes, além de subestimar a evaporação do açude, dependendo da época do ano, pode representar erros ainda maiores, especialmente no período frio e úmido;
- A evolução diária da temperatura da água nos tanques padrão, T1,0m e T0,5m, em relação a temperatura da água nos açudes estudados, mostrou comportamento sincronizado, entretanto, isso não aconteceu em relação a temperatura da água do tanque Classe A, o qual mostrou comportamento sincronizado com a temperatura do ar;
- Embora a amplitude térmica diária da água do tanque Classe A, seja bastante elevada, o mesmo apresenta temperatura média diária bem próxima da temperatura média diária da água do açude, contudo, seu comportamento é muito diferente ao longo do dia, principalmente nos instantes mais quentes do período diurno, alcançando temperaturas de

desse açude. Do restante da lâmina rebaixada, uma parte correspondeu as perdas por infiltração, já que o referido açude teve recarga até o final de fevereiro/2003, que dobrou o volume armazenado em dezembro/2002, e a outra parte correspondeu as perdas por irrigação, efetuadas por poceiros instalados nas margens do açude.

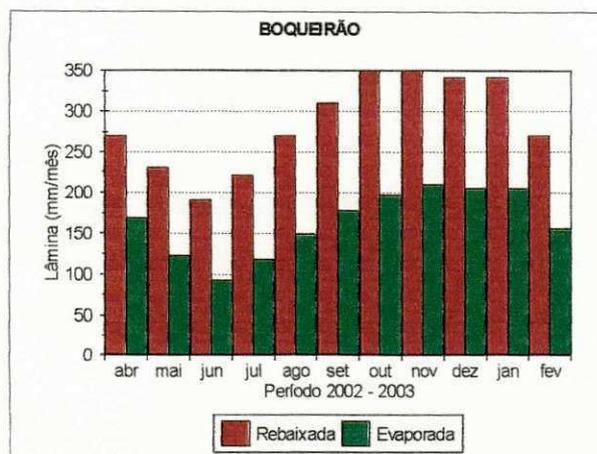


Figura 4.259. Evolução mensal das lâminas rebaixada e evaporada no açude Epitácio Pessoa em Boqueirão, no período abril/2002 a fevereiro/2003.

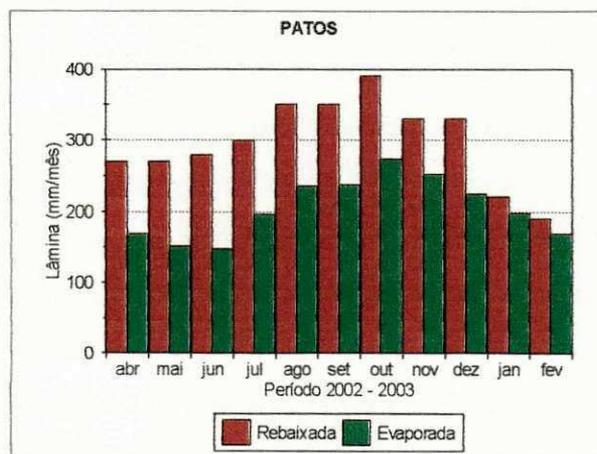


Figura 4.260. Evolução mensal das lâminas rebaixada e evaporada no açude Jatobá em Patos, durante o período abril/2002 a fevereiro/2003.

- Embora mais estudos devam ser desenvolvidos, os resultados obtidos nesta pesquisa sinalizam claramente que os tanques tubulares de cimento representam uma alternativa mais precisa e de baixo custo para medir a evaporação. Diante disso, e considerando que o tanque de 1 metro de profundidade e 1,5 metros de diâmetro (T1,0m), além de ter mostrado uma ótima performance, permaneceu cerca de dois meses sem sujar sua água, recomenda-se o uso do mesmo como alternativa de substituição do tanque Classe A, para melhor estimar a evaporação nas condições estudadas;
- Recomenda-se que, diante da impossibilidade de efetuar-se medidas de evaporação em todos os açudes, pelos menos, nos principais açudes sejam efetuadas medidas com o tanque padrão e estudos correlacionando este tanque com tanques tubulares de cimento T1,0m e T0,5m, para obter-se coeficientes mais representativos para cada microrregião. Isto poderia trazer enormes benefícios para a melhoria da gestão dos recursos hídricos no semi-árido;
- Finalmente, sugere-se que para melhorar e tornar mais eficiente e abrangente a gestão dos recursos hídricos no semi-árido nordestino, mais estudos sejam desenvolvidos nessa linha de pesquisa, visando identificar regiões climatologicamente homogêneas, e assim, poder-se aplicar coeficientes de tanque ( $K_p$ ) mais consistentes para áreas mais amplas.

até 7°C acima da temperatura da água do açude, e no período noturno, mais frio até 6°C. Isso mostra, que a média nesse caso mascara o comportamento térmico e seus efeitos. Pois, enquanto a água do açude no período noturno permanece aquecida e conseqüentemente evaporando, a água do tanque Classe A encontra-se fria, e portanto, sem condições de evaporar;

- Os tanques tubulares de cimento T1,0m e T0,5m, possibilitaram obtenções de medidas da evaporação muito mais precisas do que àquelas observadas no tanque Classe A. Enquanto os tanques tubulares de cimento apresentaram entre os períodos frio e quente, pequenas variações para os coeficientes de tanque (1,00 a 0,93), o tanque Classe A mostrou coeficientes de tanque com significativas variações (0,93 a 0,76);
- Devido as condições climáticas mais favoráveis ao processo evaporativo em Patos, as taxas de evaporação foram mais elevadas durante o período estudado, representando cerca de 65% do rebaixamento da lâmina d'água do açude, contra um índice de 56,9% em Boqueirão. A evaporação em Boqueirão durante o período estudado, correspondeu a 80% da evaporação observada em Patos;
- Em termos de influência dos parâmetros climáticos, verificou-se que em alguns dias as temperaturas elevadas do ar e da água, associadas à baixa umidade do ar e ao aumento de velocidade do vento, contribuíram fortemente para ocorrências de elevadas taxas de evaporação. Neste contexto, a velocidade do vento desempenhou um papel muito relevante;
- Os resultados indicam que, após um certo período de baixa umidade do ar, os dias que antecederam um dia de alto índice de precipitação, apresentaram as maiores taxas de evaporação, sugerindo que a atmosfera nesses dias, atua como um grande "sugador" de umidade das superfícies livres de água;
- Nenhum dos modelos de estimativas de evaporação analisados, apresentaram bons resultados para estimativas diárias, porém, para o  $P_{total}$ ,  $P_{frio}$  e  $P_{quente}$ , os métodos de Snyder (1992) e Kohler et al. (1955), mostraram boas estimativas comparadas à evaporação observada no tanque padrão, com erros relativos para  $P_{total}$  de -5,9 e 5,0%, respectivamente. O coeficiente de relação medida – estimativa (Kohler et al. 1955), foi o que apresentou o melhor desempenho para os três períodos. No entanto, dependendo do método e de como é usado, erros consideráveis podem ser cometidos;

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, E.E., COSLER, D.J., HELFRICH, K.R. Evaporation from heated water bodies: predicting combined forced plus free convection. **Water Resources Research**, v.26, n.3, p.425-435.1990.
- ANDERSON, E.R. Energy-budget studies. In: Water-Loss Investigations: Lake Hefner Studies. Tech. Rep., U.S. **Geology Survey**, Prof. Pap., 269, p.71-119. 1954.
- ANDRADE, E.G.C. & MATTOS, A. Perdas de água por evaporação na lagoa do Bonfim – RN no verão de 2000. V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Natal, RN. **Anais...** v. 2, p. 162 – 173, 2000.
- ARAÚJO, L.E., LEITÃO, M.M.V.B.R., OLIVEIRA, G.M., SILVA, A.S.L. Comparação da evaporação de tanques de cimento amianto e Classe A. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu, PR, **Anais, CDROM**, 2234-1.pdf, p.2280-2283, 2002.
- BAILEY, J.O. The potential value of remotely sensed data in the assessment of evapotranspiration and evaporation. **Remote Sensing Reviews**, v.4, n.2, p. 349-377. 1990.
- BARROS, L.C.G.; PORTO E.R.; SOUZA, O. Efeitos da cobertura de açudes na evaporação da água armazenada. VII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, **Anais...**, Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem (ABID), p.344-350. 1984.
- BATISTA, J.A.N., ANDRADE, E.G.C., MATTOS, A. Estudo de comparação entre os métodos de Rippl e do Eng. Francisco Aguiar: uma análise do aproveitamento da sub-bacia do açude Pau dos Ferros/RN. V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal, RN, **Anais 2**, p.517-529. 2000.
- BEZERRA, C.C., LEITÃO, M.M.V.B.R., OLIVEIRA, G.M., SILVA, A.S.L. Avaliação do aquecimento da água em tanques de cimento amianto e Classe A. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu, PR, **Anais, CDROM**, 2420-1.pdf, p.2499-2504, 2002.
- BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Physical Review**. New York, v.27, p.779-787, 1926.



- FAO IRRIGATION AND DRAINAGE. Crop evapotranspiration. **Guidelines for computing crop water requirements**. Paper 56, 1998.
- FENNESSEY, N.M. & KIRSHEN, P.H. Evaporation and evapotranspiration under climate change in New England. **Journal of Water Resources Planning and Management**. v. 120, n. 1, p. 48-69, 1994.
- FINCH, J.W.; GASH, J.H.C. Application of a simple finite difference model for estimating evaporation from open water. **Journal of Hidrology**, v. 255, p. 253 – 259. 2002.
- FITZGERALD D. Evaporation. **Transactions of the ASCE** 15, 581-646, 1886.
- GANGOPADHYAYA, M.; HARBECK, G.E.; NORDENSON, T.J.; OMAR, M.H.; URYVAEV, V.A. Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. **World Meteorological Organization**, Geneva, 1966. 121p. (Tech. Note No. 83, WMO-No.201, TP 105).
- GIBSON, J.J. Short-term evaporation and water budget comparisons in shallow arctic lakes using non-steady isotope mass balance. **Journal of Hidrology**, v.264, p.242-261, 2002.
- GRANT, D.R. Comparison of evaporation measurements using different methods. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, London, v.101, p.543-550. 1975.
- HANSON, C.L.; RAUZI, F. Class A pan evaporation as affected by shelter, and a daily prediction equation. **Agricultural Meteorology**, v.18, p.27-35, 1977.
- HARBECK, G.E. A practical field technique for measuring reservoir evaporation utilizing mass-transfer theory. USGPO, Washington, D.C., **Geology Survey Prof. Pap.** 272-E, p.101-105. 1962.
- HARBECK, G.E. Estimating forced evaporation from cooling ponds. **Journal Power Division**, Proc. ASCE, PO3 (4061): 1-9. 1964.
- HARBECK, G.E., KENNON, F.W. The water-budget control. In: Water-Loss Investigations: Lake Hefner Studies. Tech. Rep., U.S. **Geology Survey**, Prof. Pap., 269, p.17-34. 1954.
- HJELMFELT, A. T. & CASSIDY, J. J. **Hidrology for engineers and planners**. Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa, 1975, 210p.
- HOUNAM, C. E. **Comparison between pan and lake evaporation**. World Meteorological Organization. Rapporteur on Lake Evaporation, Geneva, 1973. 52 p. (Tech. Note No. 126).
- IDSO, S.B. Relative rates of evaporative water losses from open and vegetation covered water bodies. **Water Resources Bulletin**, American Water Resources Association, vol. 17, n.1, p.46-48, 1981.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, E.E., COSLER, D.J., HELFRICH, K.R. Evaporation from heated water bodies: predicting combined forced plus free convection. **Water Resources Research**, v.26, n.3, p.425-435.1990.
- ANDERSON, E.R. Energy-budget studies. In: Water-Loss Investigations: Lake Hefner Studies. Tech. Rep., U.S. **Geology Survey**, Prof. Pap., 269, p.71-119. 1954.
- ANDRADE, E.G.C. & MATTOS, A. Perdas de água por evaporação na lagoa do Bonfim – RN no verão de 2000. V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Natal, RN. **Anais...** v. 2, p. 162 – 173, 2000.
- ARAÚJO, L.E., LEITÃO, M.M.V.B.R., OLIVEIRA, G.M., SILVA, A.S.L. Comparação da evaporação de tanques de cimento amianto e Classe A. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu, PR, **Anais, CDROM**, 2234-1.pdf, p.2280-2283, 2002.
- BAILEY, J.O. The potential value of remotely sensed data in the assessment of evapotranspiration and evaporation. **Remote Sensing Reviews**, v.4, n.2, p. 349-377. 1990.
- BARROS, L.C.G.; PORTO E.R.; SOUZA, O. Efeitos da cobertura de açudes na evaporação da água armazenada. VII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, **Anais...**, Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem (ABID), p.344-350. 1984.
- BATISTA, J.A.N., ANDRADE, E.G.C., MATTOS, A. Estudo de comparação entre os métodos de Rippl e do Eng. Francisco Aguiar: uma análise do aproveitamento da sub-bacia do açude Pau dos Ferros/RN. V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Natal, RN, **Anais 2**, p.517-529. 2000.
- BEZERRA, C.C., LEITÃO, M.M.V.B.R., OLIVEIRA, G.M., SILVA, A.S.L. Avaliação do aquecimento da água em tanques de cimento amianto e Classe A. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu, PR, **Anais, CDROM**, 2420-1.pdf, p.2499-2504, 2002.
- BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Physical Review**. New York, v.27, p.779-787, 1926.

- MEYER, A.F. Trans. American Society Civil Engineers, 79, 1056, 1915.
- MOLLE, F. **Perdas por evaporação e infiltração em pequenos açudes**. Recife, SUDENE/DPG/PRN/GT.HME, 1989, 175 p. il. (Brasil.SUDENE.Hidrologia, 25). Convênio: SUDENE/ORSTOM.
- MOLLE, F. Evapotranspiração – Evaporação do tanque Classe A – Evaporação nos pequenos açudes: variações e correlações. VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz de Iguaçu, **Anais 1**, Foz de Iguaçu, PR, 1989.
- MOLLE, F., CADIER, E. **Manual do pequeno açude**. SUDENE, ORSTON, 511 p. 1992.
- MORTON, F.I. Climatological Estimates of lake evaporation. **Water Resources Research**, v.15, n.1, p.64-76. 1979.
- MORTON, F.I. Operational estimates of lake evaporation. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, n.66, p. 77 – 100. 1983.
- MOURA, G.A. **Modelização da evaporação de açudes considerando o fenômeno de advecção localizada**. Dissertação de Mestrado. UFPB. 1992.
- MOURA, G.A. & SILANS, A.M.B.P. Contribuição do modelo numérico de evaporação de açudes baseado no conceito de advecção localizada. X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. I Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul. Gramado, RS. **Anais 02**, p. 405 – 414, 1993.
- NIMMO, W.H.R. Measurement of evaporation by pans and tanks. **Aust. Meteorol. Mag.**, v. 46, p.17-53, 1964.
- OLIVIER, H. **Irrigation and climate**. London, Edward Arnold Limited. 1961. 262 p.
- OLIVEIRA A.S. **Estudos comparativos da evaporação potencial estimada por tanques e pelo método de Penman**. ESALQ/USP. 113p. (Tese de Livre – Docência) 1971.
- PARLANGE, M.B., KATUL, G.G. Estimation of the diurnal variation of potential evaporation from a wet bare soil surface. **Journal of Hydrology**, v.132, p.71-89. 1992.
- PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society. A – Series**, London, v.193, p.120 – 145, 1948.
- PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A., SEDIYAMA, G.C., 1997. **EVAPOTRANSPIRAÇÃO**. Piracicaba: FEALQ, 183 p.: il.
- PRIESTLEY, C.H.B., TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Rev.** 100-2, 81-92. 1972.

FAO IRRIGATION AND DRAINAGE. Crop evapotranspiration. **Guidelines for computing crop water requirements**. Paper 56, 1998.

FENNESSEY, N.M. & KIRSHEN, P.H. Evaporation and evapotranspiration under climate change in New England. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 120, n. 1, p. 48-69, 1994.

FINCH, J.W.; GASH, J.H.C. Application of a simple finite difference model for estimating evaporation from open water. **Journal of Hidrology**, v. 255, p. 253 – 259. 2002.

FITZGERALD D. Evaporation. **Transactions of the ASCE** 15, 581-646, 1886.

GANGOPADHYAYA, M.; HARBECK, G.E.; NORDENSON, T.J.; OMAR, M.H.; URYVAEV, V.A. Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. **World Meteorological Organization**, Geneva, 1966. 121p. (Tech. Note No. 83, WMO-No.201, TP 105).

GIBSON, J.J. Short-term evaporation and water budget comparisons in shallow arctic lakes using non-steady isotope mass balance. **Journal of Hidrology**, v.264, p.242-261, 2002.

GRANT, D.R. Comparison of evaporation measurements using different methods. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, London, v.101, p.543-550. 1975.

HANSON, C.L.; RAUZI, F. Class A pan evaporation as affected by shelter, and a daily prediction equation. **Agricultural Meteorology**, v.18, p.27-35, 1977.

HARBECK, G.E. A practical field technique for measuring reservoir evaporation utilizing mass-transfer theory. USGPO, Washington, D.C., **Geology Survey Prof. Pap.** 272-E, p.101-105. 1962.

HARBECK, G.E. Estimating forced evaporation from cooling ponds. **Journal Power Division**, Proc. ASCE, PO3 (4061): 1-9. 1964.

HARBECK, G.E., KENNON, F.W. The water-budget control. In: Water-Loss Investigations: Lake Hefner Studies. Tech. Rep., U.S. **Geology Survey**, Prof. Pap., 269, p.17-34. 1954.

HJELMFELT, A. T. & CASSIDY, J. J. **Hidrology for engineers and planners**. Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa, 1975, 210p.

HOUNAM, C. E. **Comparison between pan and lake evaporation**. World Meteorological Organization. Rapporteur on Lake Evaporation, Geneva, 1973. 52 p. (Tech. Note No. 126).

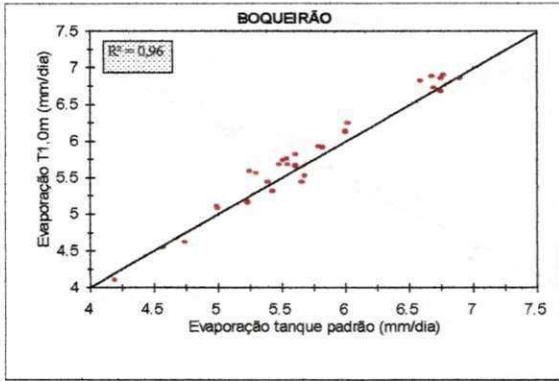
IDSO, S.B. Relative rates of evaporative water losses from open and vegetation covered water bodies. **Water Resources Bulletin**, American Water Resources Association, vol. 17, n.1, p.46-48, 1981.

- SILVA, A. S. L. **Uso de tanque de cimento amianto como alternativa para medir a evaporação.** Dissertação de Mestrado, DCA – CMM TD N° 04, UFPB, Campina Grande, PB, 93 p., 2000.
- SLEIGHT, R.B. Evaporation from the surfaces of water and river-bed materials. **Journal of Agricultural Research.**, v.10, n.5, p.209-261, 1917.
- SNYDER, R.L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, vol. 118, n. 6, p. 977-980, 1992.
- SOUSA, F. A. S.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; SARAIVA, F. A.; ALVES, L. M. O uso de telas na redução da evaporação potencial da água no semi-árido nordestino. XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte – MG, 28 de novembro a 02 de dezembro de 1999.
- STANNARD, D.I., ROSENBERRY, D.O. A comparison of short-term measurements of lake evaporation using eddy correlation and energy budget methods. **Journal of Hidrology**, v.122, p.15-22. 1991.
- STELLING. In St. Petersburg, Russia. Stelling's complete reference has not been got but its name and year are kept here with the aim at preserving the historical data, 1882.
- STEWART, R., B & ROUSE, W. R. A simple method for determining the evaporation from shallow lakes and ponds. **Water Resources Research.**, 12: 623 – 628, 1976.
- STIGTER, C.J. (Discussion) Application of Penman wind function, by Richard H. Cuenca and Martin T. Nicholson (Mar, 1982). **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, vol.109, n.2, p. 278-281, 1983.
- STRICKER, H., BRUTSAERT, W: Actual evapotranspiration over a summer period in the "Hupsel Catchment." **Journal of Hidrology**, v.39, p.139-157. 1978.
- SUDENE. **Dados pluviométricos mensais do Nordeste**, Recife, PE, 239p, 1990.
- SWEERS, H.E. A nomogram to estimate the heat-exchange coefficient at the air-water interface as a function of wind speed and temperature: a critical survey of some literature. **Journal of Hidrology**, v.30, p.375-401. 1976.
- THOM, A. S. & OLIVER, H. R. On Penman's equation for estimating regional evaporation. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, 103: 345 – 357, 1977.
- THOM, A.S.; THONY, J.L.; VAUCLIN, M. On the proper employment of evaporation pans and atmometers in estimating potential transpiration. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, v. 107, n. 453, p. 711-736, 1981.
- VALLET-COULOMB, C.; LEGESSE, D.; GASSE, F.; TRAVI, Y.; CHERNET, T. Lake evaporation estimates in tropical Africa (Lake zaway, Ethiopia). **Journal of Hidrology**, Amsterdam, n.245, p.1-18. 2001.

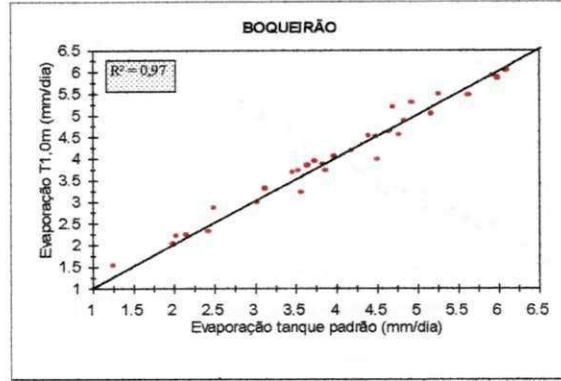
- MEYER, A.F. Trans. American Society Civil Engineers, 79, 1056, 1915.
- MOLLE, F. **Perdas por evaporação e infiltração em pequenos açudes**. Recife, SUDENE/DPG/PRN/GT.HME, 1989, 175 p. il. (Brasil.SUDENE.Hidrologia, 25). Convênio: SUDENE/ORSTOM.
- MOLLE, F. Evapotranspiração – Evaporação do tanque Classe A – Evaporação nos pequenos açudes: variações e correlações. VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz de Iguaçu, **Anais 1**, Foz de Iguaçu, PR, 1989.
- MOLLE, F., CADIER, E. **Manual do pequeno açude**. SUDENE, ORSTON, 511 p. 1992.
- MORTON, F.I. Climatological Estimates of lake evaporation. **Water Resources Research**, v.15, n.1, p.64-76. 1979.
- MORTON, F.I. Operational estimates of lake evaporation. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, n.66, p. 77 – 100. 1983.
- MOURA, G.A. **Modelização da evaporação de açudes considerando o fenômeno de advecção localizada**. Dissertação de Mestrado. UFPB. 1992.
- MOURA, G.A. & SILANS, A.M.B.P. Contribuição do modelo numérico de evaporação de açudes baseado no conceito de advecção localizada. X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. I Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul. Gramado, RS. **Anais 02**, p. 405 – 414, 1993.
- NIMMO, W.H.R. Measurement of evaporation by pans and tanks. **Aust. Meteorol. Mag.**, v. 46, p.17-53, 1964.
- OLIVIER, H. **Irrigation and climate**. London, Edward Arnold Limited. 1961. 262 p.
- OLIVEIRA A.S. **Estudos comparativos da evaporação potencial estimada por tanques e pelo método de Penman**. ESALQ/USP. 113p. (Tese de Livre – Docência) 1971.
- PARLANGE, M.B., KATUL, G.G. Estimation of the diurnal variation of potential evaporation from a wet bare soil surface. **Journal of Hydrology**, v.132, p.71-89. 1992.
- PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society. A – Series**, London, v.193, p.120 – 145, 1948.
- PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A., SEDIYAMA, G.C., 1997. **EVAPOTRANSPIRAÇÃO**. Piracicaba: FEALQ, 183 p.: il.
- PRIESTLEY, C.H.B., TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Rev.** 100-2, 81-92. 1972.

**ANEXOS**

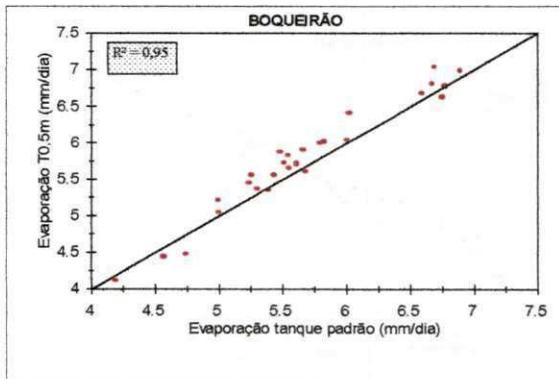
- SILVA, A. S. L. **Uso de tanque de cimento amianto como alternativa para medir a evaporação.** Dissertação de Mestrado, DCA – CMM TD N° 04, UFPB, Campina Grande, PB, 93 p., 2000.
- SLEIGHT, R.B. Evaporation from the surfaces of water and river-bed materials. **Journal of Agricultural Research.**, v.10, n.5, p.209-261, 1917.
- SNYDER, R.L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, vol. 118, n. 6, p. 977-980, 1992.
- SOUSA, F. A. S.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; SARAIVA, F. A.; ALVES, L. M. O uso de telas na redução da evaporação potencial da água no semi-árido nordestino. XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte – MG, 28 de novembro a 02 de dezembro de 1999.
- STANNARD, D.I., ROSENBERY, D.O. A comparison of short-term measurements of lake evaporation using eddy correlation and energy budget methods. **Journal of Hydrology**, v.122, p.15-22. 1991.
- STELLING. In St. Petersburg, Russia. Stelling's complete reference has not been got but its name and year are kept here with the aim at preserving the historical data, 1882.
- STEWART, R., B & ROUSE, W. R. A simple method for determining the evaporation from shallow lakes and ponds. **Water Resources Research.**, 12: 623 – 628, 1976.
- STIGTER, C.J. (Discussion) Application of Penman wind function, by Richard H. Cuenca and Martin T. Nicholson (Mar, 1982). **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, vol.109, n.2, p. 278-281, 1983.
- STRICKER, H., BRUTSAERT, W. Actual evapotranspiration over a summer period in the "Hupsel Catchment." **Journal of Hydrology**, v.39, p.139-157. 1978.
- SUDENE. **Dados pluviométricos mensais do Nordeste**, Recife, PE, 239p, 1990.
- SWEERS, H.E. A nomogram to estimate the heat-exchange coefficient at the air-water interface as a function of wind speed and temperature: a critical survey of some literature. **Journal of Hydrology**, v.30, p.375-401. 1976.
- THOM, A. S. & OLIVER, H. R. On Penman's equation for estimating regional evaporation. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, 103: 345 – 357, 1977.
- THOM, A.S.; THONY, J.L.; VAUCLIN, M. On the proper employment of evaporation pans and atmometers in estimating potential transpiration. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, v. 107, n. 453, p. 711-736, 1981.
- VALLET-COULOMB, C.; LEGESSE, D.; GASSE, F.; TRAVI, Y.; CHERNET, T. Lake evaporation estimates in tropical Africa (Lake ziwai, Ethiopia). **Journal of Hydrology**, Amsterdam, n.245, p.1-18. 2001.



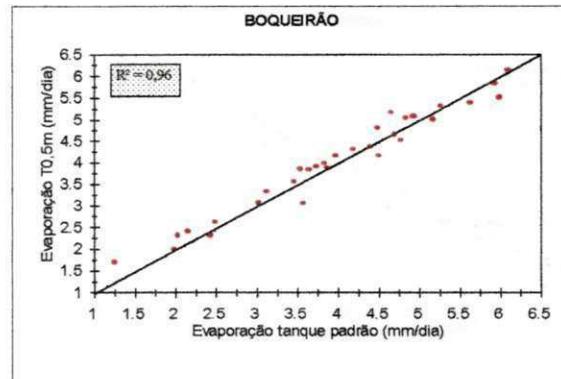
Anexo 1. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para abril de 2002 em Boqueirão.



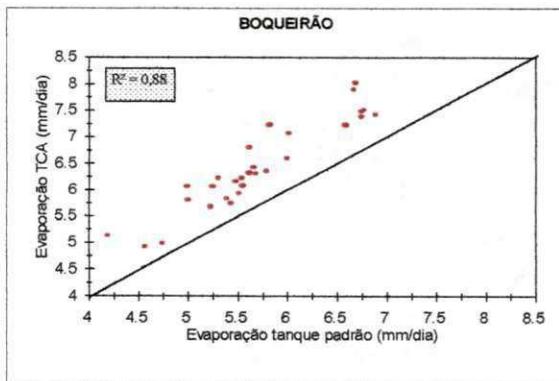
Anexo 4. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para maio de 2002 em Boqueirão.



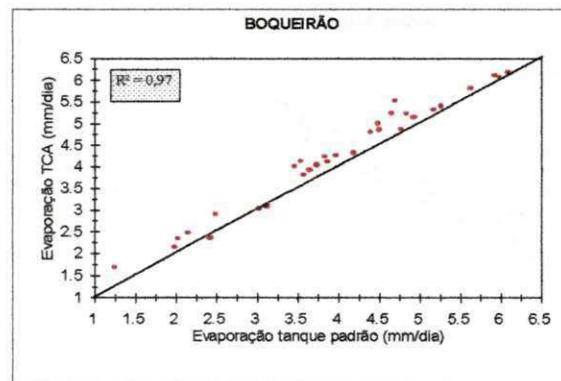
Anexo 2. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para abril de 2002 em Boqueirão.



Anexo 5. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para maio de 2002 em Boqueirão.

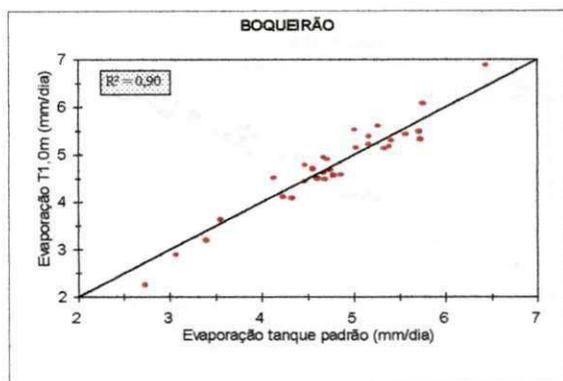


Anexo 3. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para abril de 2002 em Boqueirão.

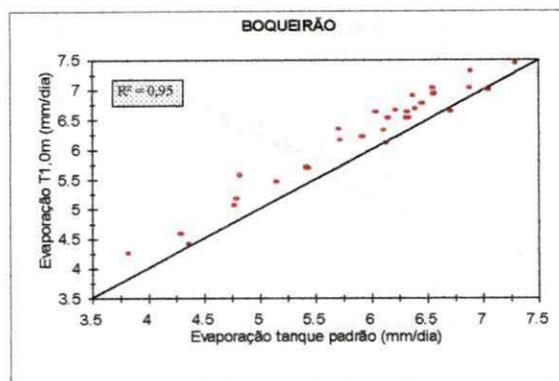


Anexo 6. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para maio de 2002 em Boqueirão.

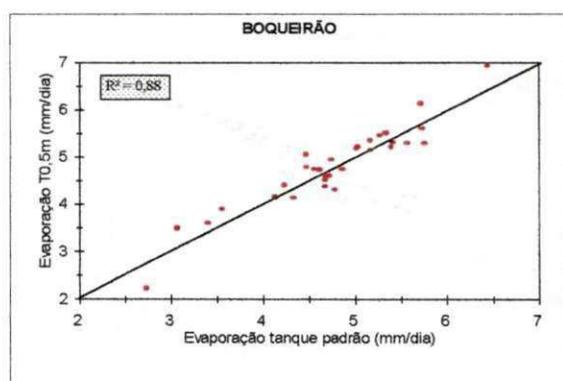
**ANEXOS**



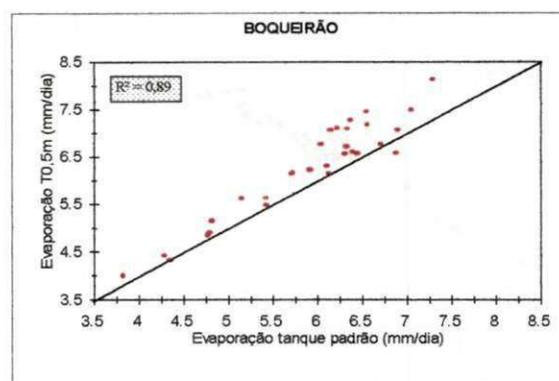
Anexo 13. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para agosto de 2002 em Boqueirão.



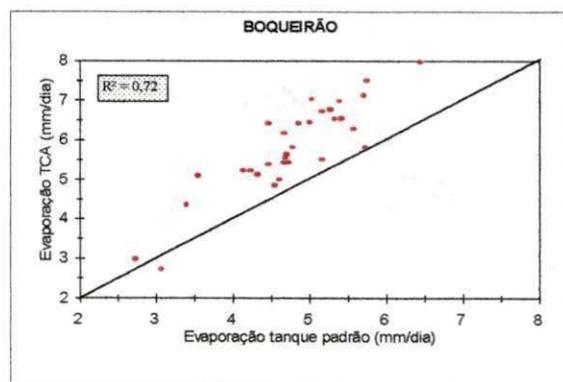
Anexo 16. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para setembro de 2002 em Boqueirão.



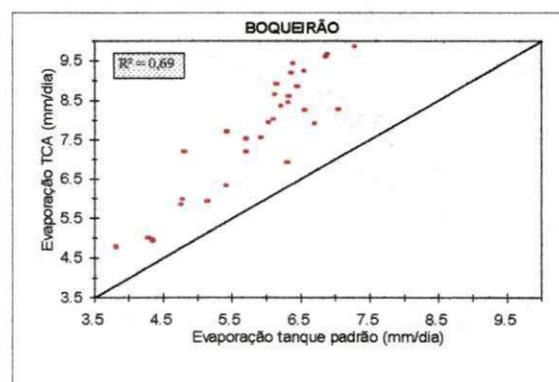
Anexo 14. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para agosto de 2002 em Boqueirão.



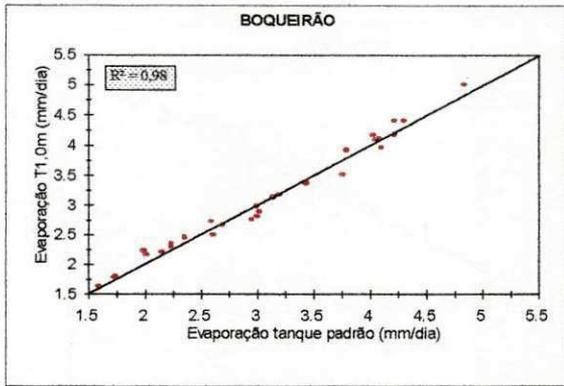
Anexo 17. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para setembro de 2002 em Boqueirão.



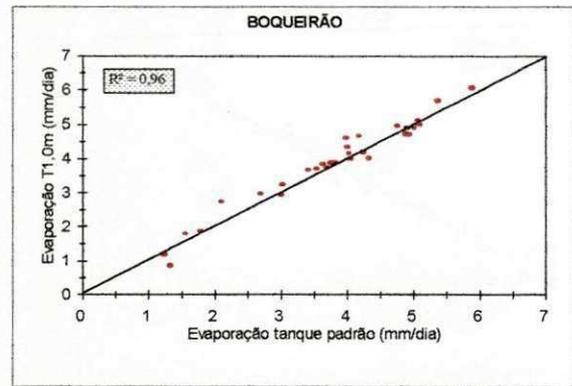
Anexo 15. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para agosto de 2002 em Boqueirão.



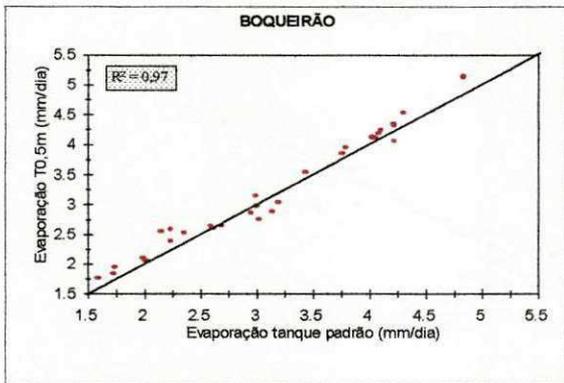
Anexo 18. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para setembro de 2002 em Boqueirão.



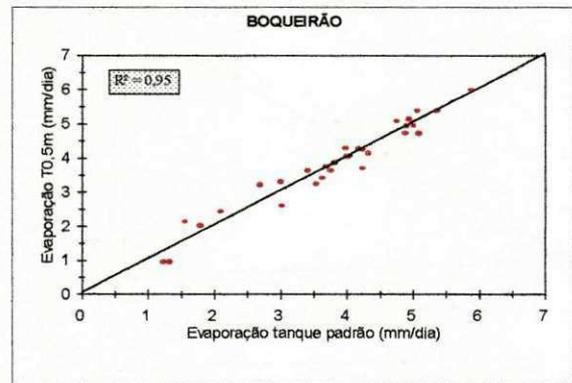
Anexo 7. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para junho de 2002 em Boqueirão.



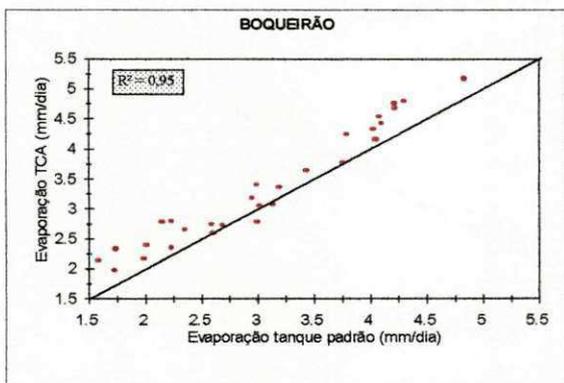
Anexo 10. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para julho de 2002 em Boqueirão.



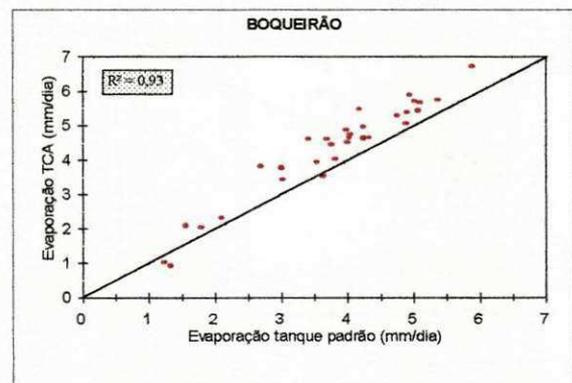
Anexo 8. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para junho de 2002 em Boqueirão.



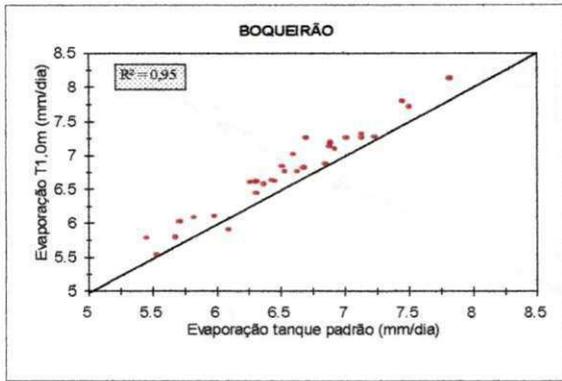
Anexo 11. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para julho de 2002 em Boqueirão.



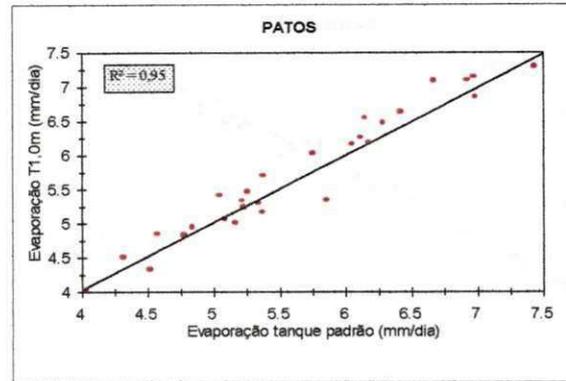
Anexo 9. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para junho de 2002 em Boqueirão.



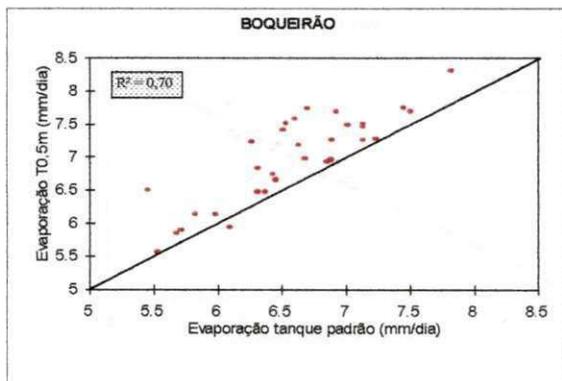
Anexo 12. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para julho de 2002 em Boqueirão.



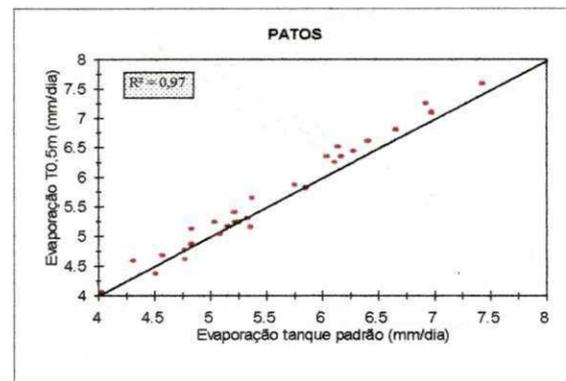
Anexo 25. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para dezembro de 2002 em Boqueirão.



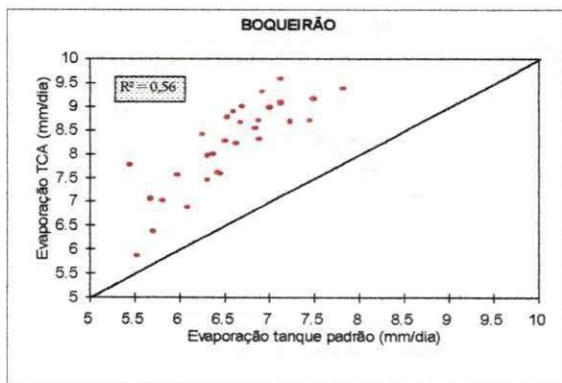
Anexo 28. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para abril de 2002 em Patos.



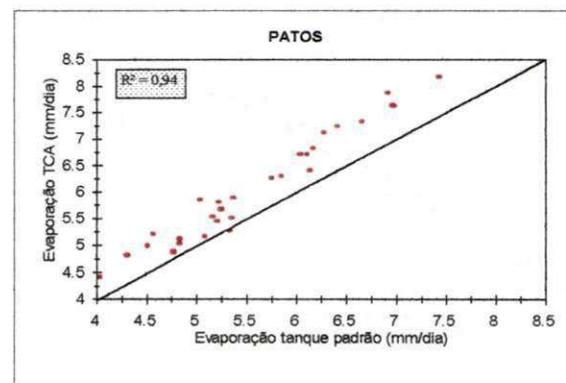
Anexo 26. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para dezembro de 2002 em Boqueirão.



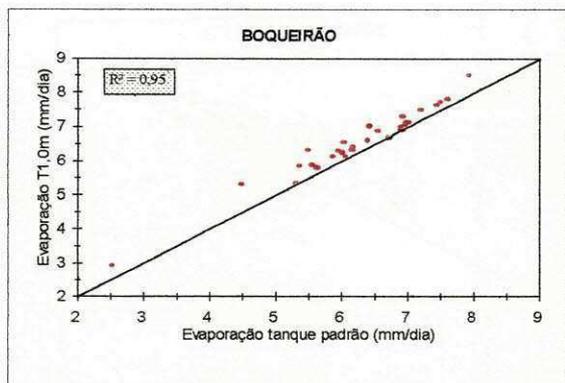
Anexo 29. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para abril de 2002 em Patos.



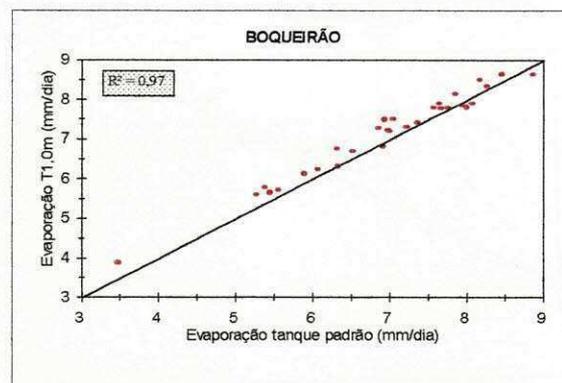
Anexo 27. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para dezembro de 2002 em Boqueirão.



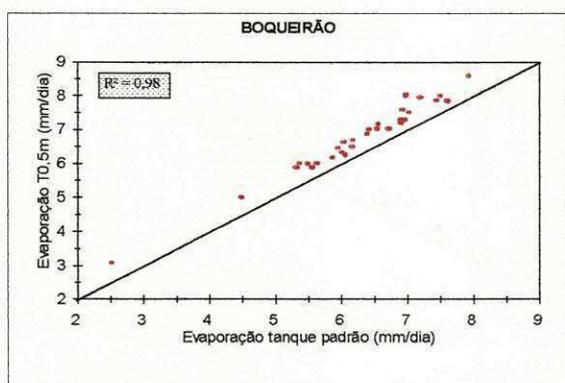
Anexo 30. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para abril de 2002 em Patos.



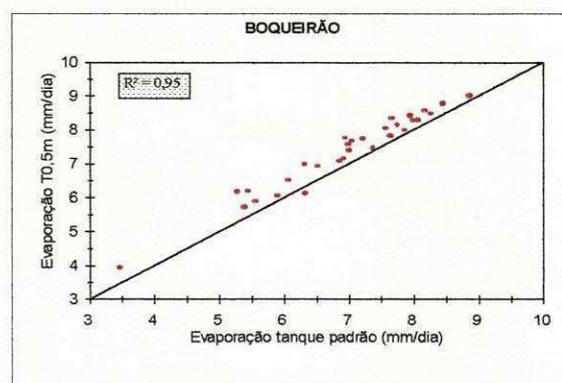
Anexo 19. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para outubro de 2002 em Boqueirão.



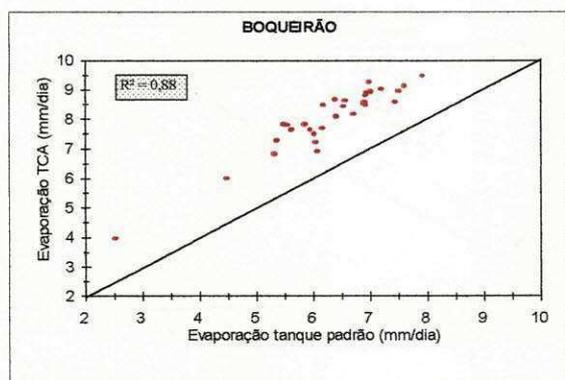
Anexo 22. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para novembro de 2002 em Boqueirão.



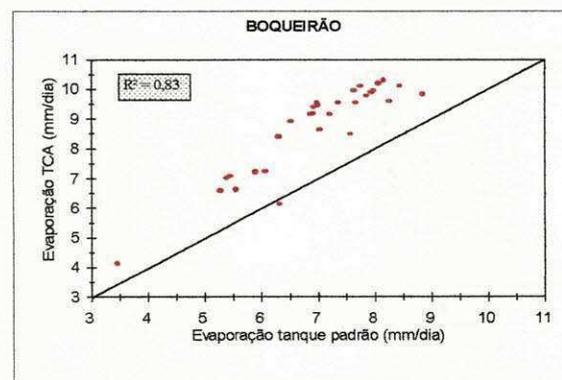
Anexo 20. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para outubro de 2002 em Boqueirão.



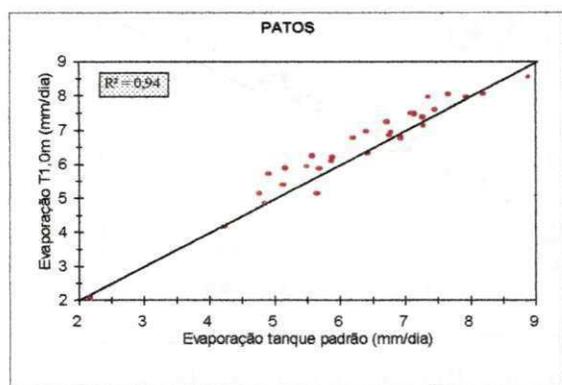
Anexo 23. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para novembro de 2002 em Boqueirão.



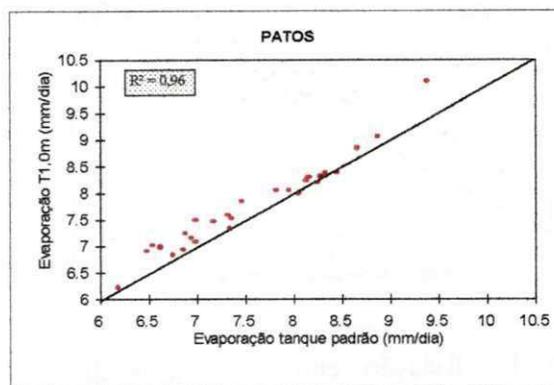
Anexo 21. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para outubro de 2002 em Boqueirão.



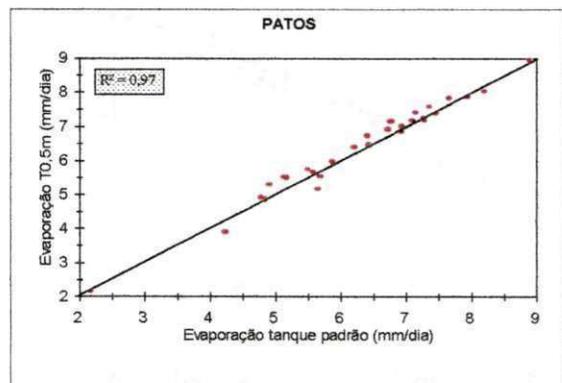
Anexo 24. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para novembro de 2002 em Boqueirão.



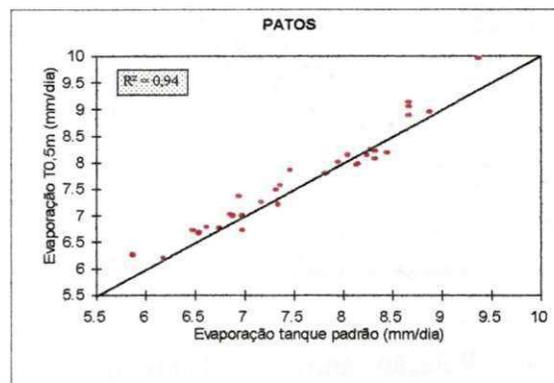
Anexo 37. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para julho de 2002 em Patos.



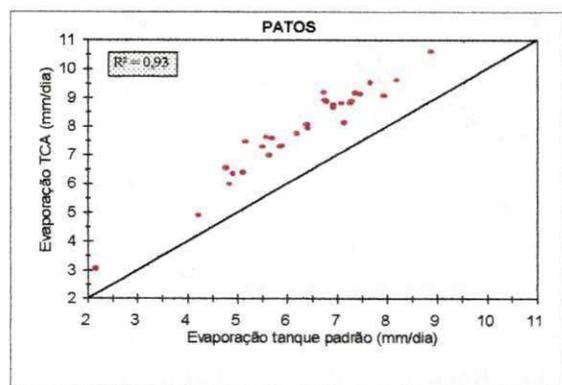
Anexo 40. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para agosto de 2002 em Patos.



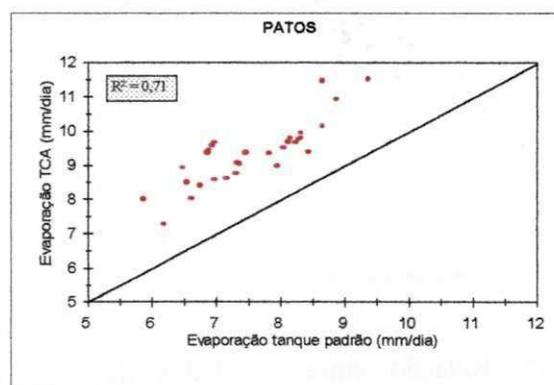
Anexo 38. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para julho de 2002 em Patos.



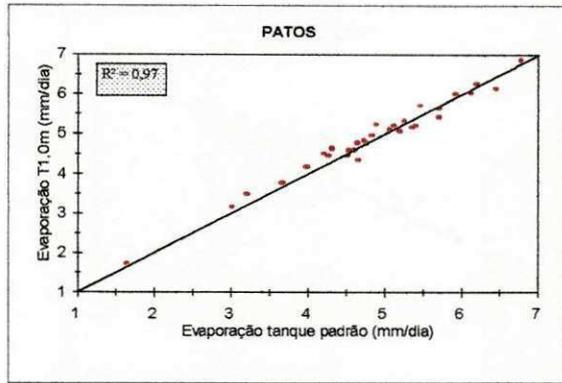
Anexo 41. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para agosto de 2002 em Patos.



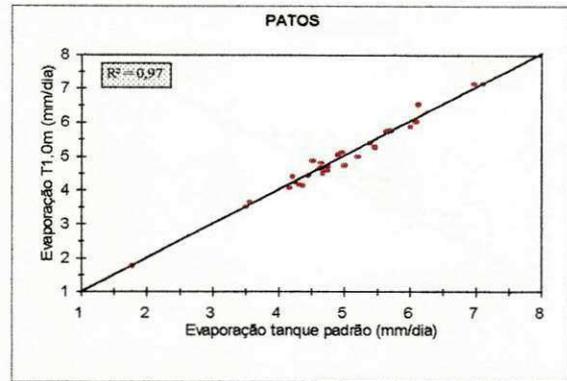
Anexo 39. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para julho de 2002 em Patos.



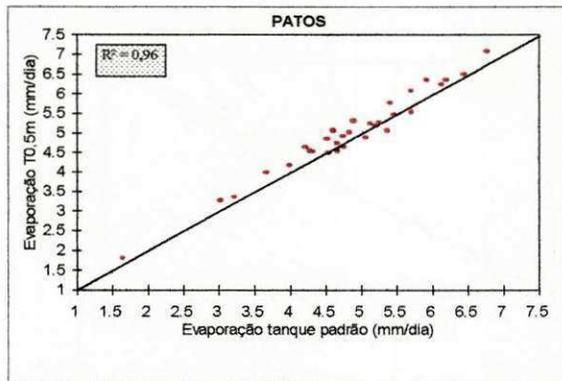
Anexo 42. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para agosto de 2002 em Patos.



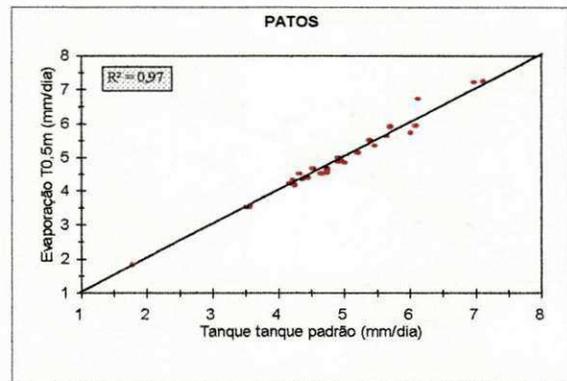
Anexo 31. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para maio de 2002 em Patos.



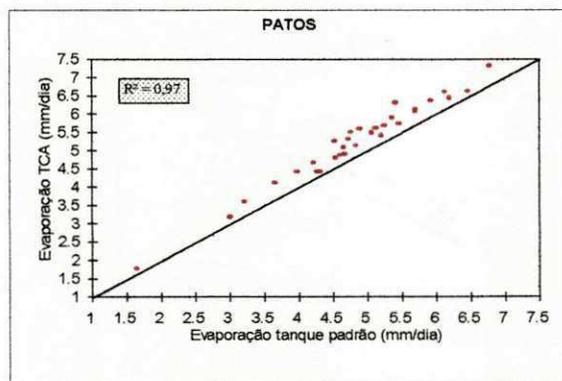
Anexo 34. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para junho de 2002 em Patos.



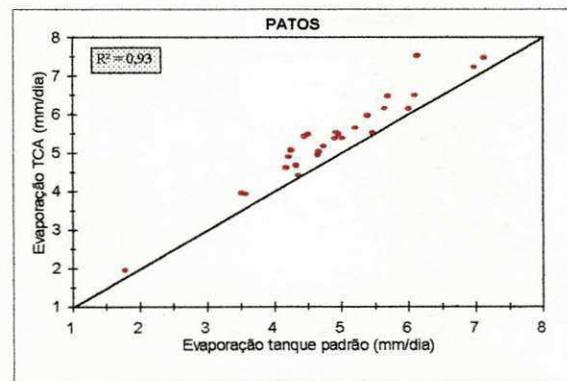
Anexo 32. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para maio de 2002 em Patos.



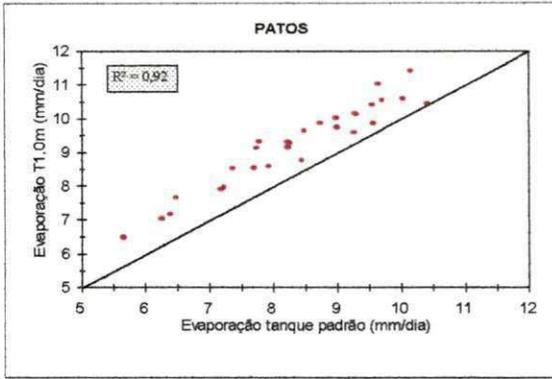
Anexo 35. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para junho de 2002 em Patos.



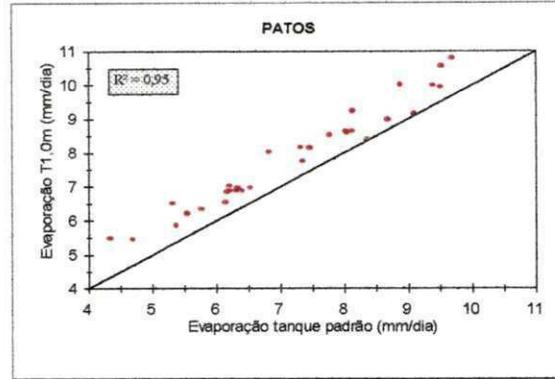
Anexo 33. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para maio de 2002 em Patos.



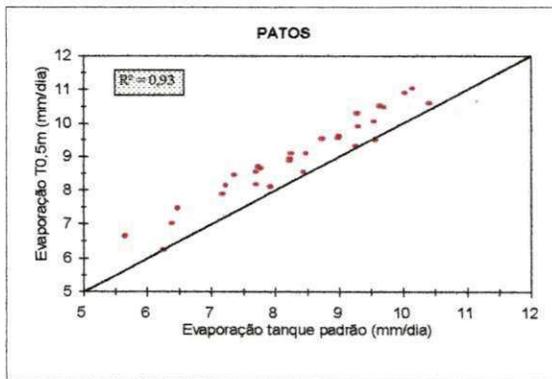
Anexo 36. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para junho de 2002 em Patos.



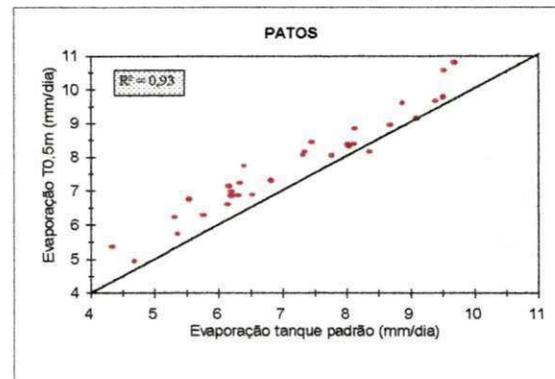
Anexo 49. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para novembro de 2002 em Patos.



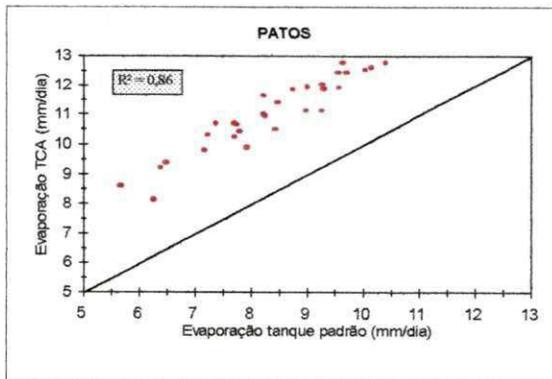
Anexo 52. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para dezembro de 2002 em Patos.



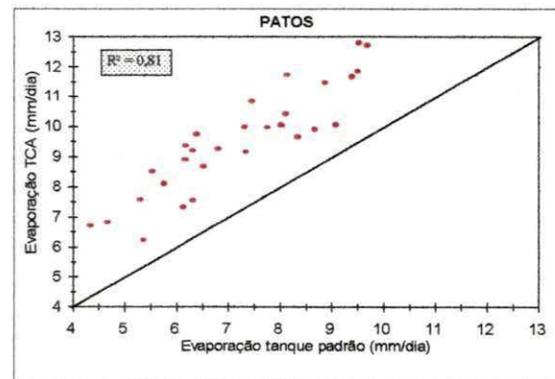
Anexo 50. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para novembro de 2002 em Patos.



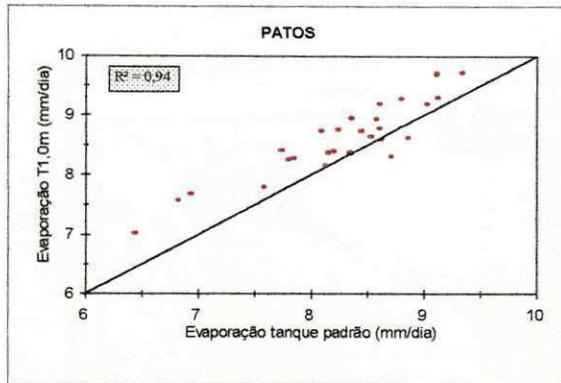
Anexo 53. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para dezembro de 2002 em Patos.



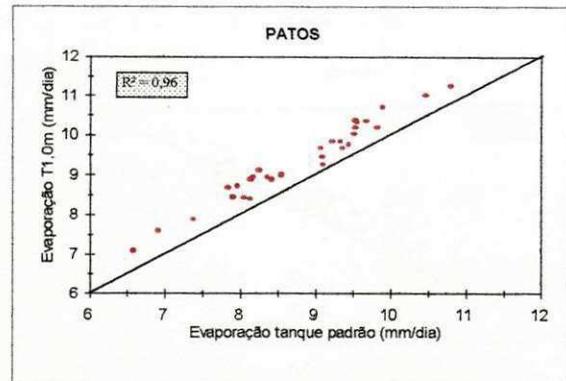
Anexo 51. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para novembro de 2002 em Patos.



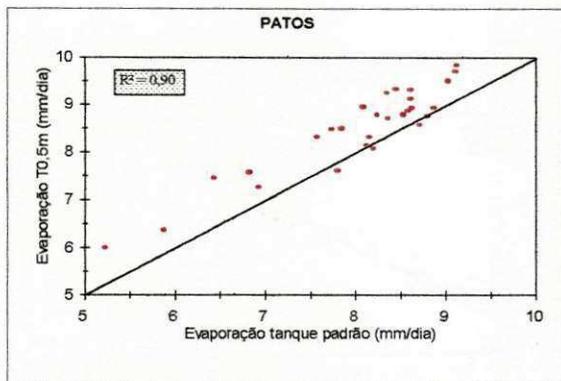
Anexo 54. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para dezembro de 2002 em Patos.



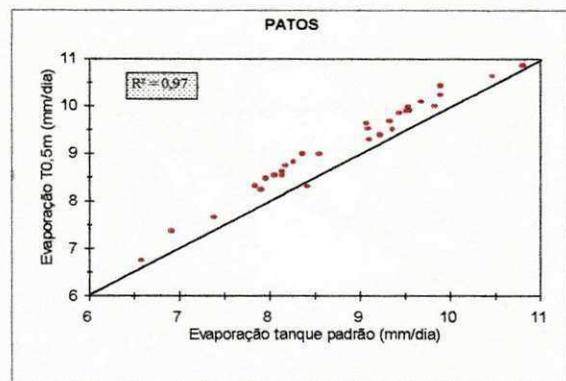
Anexo 43. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para setembro de 2002 em Patos.



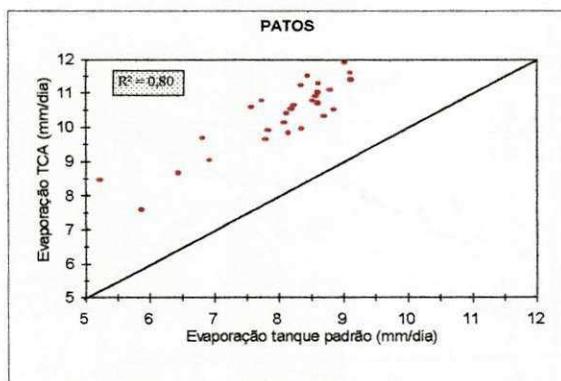
Anexo 46. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T1,0m, para outubro de 2002 em Patos.



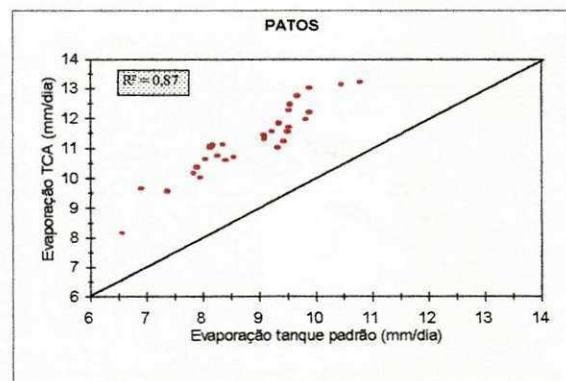
Anexo 44. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para setembro de 2002 em Patos.



Anexo 47. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e T0,5m, para outubro de 2002 em Patos.



Anexo 45. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para o mês de setembro de 2002 em Patos.



Anexo 48. Relação entre os dados de evaporação do tanque padrão e TCA, para outubro de 2002 em Patos.