

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

NATAN DIDONÉ VALLORY

Avaliação comparativa da evapotranspiração de referência em três
localidades no estado do Rio de Janeiro por meio de diferentes métodos
empíricos

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2015

NATAN DIDONÉ VALLORY

Avaliação comparativa da evapotranspiração de referência em três
localidades no estado do Rio de Janeiro por meio de diferentes métodos
empíricos

Monografia apresentada ao
Departamento de Ciências
Florestais e da Madeira, da
Universidade Federal do Espírito
Santo, como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro
Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2015

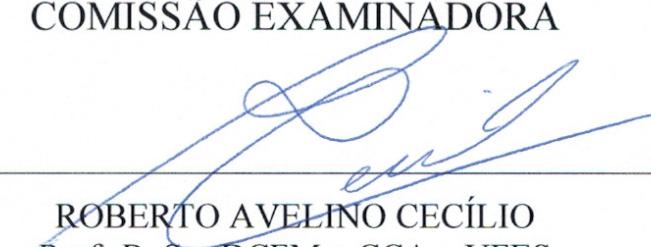
NATAN DIDONÉ VALLORY

Avaliação comparativa da evapotranspiração de referência em três
localidades no estado do Rio de Janeiro por meio de diferentes métodos
empíricos

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, da
Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título
de Engenheiro Florestal.

Aprovado em 11 de novembro de 2015.

COMISSÃO EXAMINADORA


ROBERTO AVELINO CECÍLIO
Prof. D. Sc., DCFM – CCA – UFES
Orientador


LAÍS THOMAZINI OLIVEIRA
Engenheira Florestal, M. Sc.
Examinadora


RAFAEL ESTEVES DOHLER
Engenheiro Florestal
Examinador

*Dedico esta conquista aos meus pais,
Anne Greice Didoné Braga e José Eduardo Terra Vallory.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que esteve sempre ao meu lado em todos os momentos da minha vida, me concedendo saúde, sabedoria e livramentos.

Aos meus pais, Anne Greice e José Eduardo por tudo o que sempre fizeram, e fazem, por mim.

Aos meus irmãos, Pedro (*in memorian*), Gabriel, Solano e Caio por todo o apoio e amizade.

A minha namorada, Bianca, pelo apoio e companheirismo.

A toda minha família que de alguma forma me ajudou nessa conquista.

Aos meus professores pelos ensinamentos e em especial ao professor Roberto que foi de grande ajuda na elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos da Universidade, em especial ao James e Chupeta pela ajuda, os amigos das repúblicas Prainha, Muita-Raça e Fenda do Bikini, e também aos meus amigos do intercâmbio na Hungria, que me ajudaram a crescer e amadurecer.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo realizar o estudo comparativo das equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência em comparação ao método universal padrão Penman-Monteith FAO 56 para as condições climáticas dos municípios de Paraty, Petrópolis e Campos dos Goytacazes localizados, respectivamente, nas regiões Sul, Serrana e Norte do Estado do Rio de Janeiro. Foram utilizadas as variáveis climáticas referentes ao período de 01 de janeiro de 2011 a 31 de dezembro de 2013 obtidas via plataforma de dados do CPTEC - INPE provenientes das estações automatizadas meteorológicas instaladas nos municípios mencionados. Para a análise comparativa entre as metodologias com o método padrão foi realizada análise de regressão linear simples e cálculos dos índices estatísticos: coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de concordância Willmott (d) e índice de confiança ou desempenho de Camargo (c). Analisando em conjunto os coeficientes de desempenho deste estudo, concluiu-se que os métodos de Priestley-Taylor e Hargreaves-Samani obteve as melhores combinações de valores e, portanto, os melhores desempenhos.

Palavras-chaves: Penman-Monteith, equações empíricas, estações automáticas.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS	viii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo geral.....	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Evapotranspiração	3
2.2 Evapotranspiração de referência	3
2.3 Métodos de estimação da evapotranspiração de referência	4
2.3.1 Método de Penman-Monteith - FAO 56	4
2.3.2 Método de Priestley-Taylor (1972).....	5
2.3.3 Método de Hargreaves-Samani (1985)	6
2.3.4 Método de Thornthwaite (1948)	7
2.3.5 Método de Camargo (1971)	8
3. METODOLOGIA.....	9
3.1 Local e base de dados	9
3.2 Evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith – FAO 56	10
3.3 Evapotranspiração de referência pelo método de Priestley-Taylor (1972)	13
3.4 Evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves-Samani (1985)..	14
3.5 Evapotranspiração de referência pelo método de Thornthwaite (1948).....	14
3.6 Evapotranspiração de referência pelo método de Camargo (1971).....	15
3.7 Análise estatística	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1 Paraty.....	19
4.2 Campos dos Goytacazes	25
4.3 Petrópolis.....	31
5. CONCLUSÕES	37
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MAPA COM A LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS NO ESTUDO ..	9
FIGURA 2 – GRÁFICO DE DISPERSÃO LINEAR PARA OS MÉTODOS PENMAN-MONTEITH FAO 56 E PRIESTLEY-TAYLOR	22
FIGURA 3 - GRÁFICO DE DISPERSÃO LINEAR PARA OS MÉTODOS PENMAN-MONTEITH FAO 56 E HARGREAVES-SAMANI	22
FIGURA 4 - GRÁFICO DE DISPERSÃO LINEAR PARA OS MÉTODOS PENMAN-MONTEITH FAO 56 E THORNTHWAITE	23
FIGURA 5 - GRÁFICO DE DISPERSÃO LINEAR PARA OS MÉTODOS PENMAN-MONTEITH FAO 56 E CAMARGO	23
FIGURA 6 - EVOLUÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA CADA MÊS DO PERÍODO ESTUDADO, DE TODOS OS MÉTODOS AVALIADOS, NA LOCALIDADE DE PARATY	24
FIGURA 7 - GRÁFICO DE DISPERSÃO LINEAR PARA OS MÉTODOS PENMAN-MONTEITH FAO 56 E PRIESTLEY-TAYLOR	28
FIGURA 8 - GRÁFICO DE DISPERSÃO LINEAR PARA OS MÉTODOS PENMAN-MONTEITH FAO 56 E HARGREAVES-SAMANI	28
FIGURA 9 - GRÁFICO DE DISPERSÃO LINEAR PARA OS MÉTODOS PENMAN-MONTEITH FAO 56 E THORNTHWAITE	29
FIGURA 10 - GRÁFICO DE DISPERSÃO LINEAR PARA OS MÉTODOS PENMAN-MONTEITH FAO 56 E CAMARGO	29
FIGURA 11 - EVOLUÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA CADA MÊS DO PERÍODO ESTUDADO, DE TODOS OS MÉTODOS AVALIADOS, NA LOCALIDADE DE CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ.....	30
FIGURA 12 - GRÁFICO DE DISPERSÃO LINEAR PARA OS MÉTODOS PENMAN-MONTEITH FAO 56 E PRIESTLEY-TAYLOR	34
FIGURA 13 - GRÁFICO DE DISPERSÃO LINEAR PARA OS MÉTODOS PENMAN-MONTEITH FAO 56 E HARGREAVES-SAMANI	34
FIGURA 14 - GRÁFICO DE DISPERSÃO LINEAR PARA OS MÉTODOS PENMAN-MONTEITH FAO 56 E THORNTHWAITE	35
FIGURA 15 - GRÁFICO DE DISPERSÃO LINEAR PARA OS MÉTODOS PENMAN-MONTEITH FAO 56 E CAMARGO	35
FIGURA 16 - EVOLUÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA CADA MÊS DO PERÍODO ESTUDADO, DE TODOS OS MÉTODOS AVALIADOS, NA LOCALIDADE DE PETRÓPOLIS	36

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CÓDIGO, LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA, ALTITUDE E PERÍODO UTILIZADO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AVALIADAS NESSE ESTUDO	10
TABELA 2 - CRITÉRIO PARA ANÁLISE DA PERFORMANCE DOS MÉTODOS EMPÍRICOS PELO ÍNDICE C ...	18
TABELA 3 – CRITÉRIO PARA ANÁLISE DOS VALORES DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (R)	18
TABELA 4 - PARÂMETROS DA REGRESSÃO (B_0 , B_1), COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2), COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R), ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA (D) E ÍNDICE DE CONFIANÇA OU DESEMPENHO (C) PARA VALORES DA ET_0 NA ESCALA DIÁRIA, PARA O PERÍODO DE 2011 A 2013 NA LOCALIDADE DE PARATY-RJ	20
TABELA 5 - ÍNDICE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (R), ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA (D) E ÍNDICE DE CONFIANÇA OU DESEMPENHO (C) PARA VALORES DA ET_0 NA ESCALA DIÁRIA, PARA O PERÍODO DE VERÃO (DEZEMBRO, JANEIRO E FEVEREIRO) DE 2011 A 2013 NA LOCALIDADE DE PARATY-RJ	21
TABELA 6 - ÍNDICE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (R), ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA (D) E ÍNDICE DE CONFIANÇA OU DESEMPENHO (C) PARA VALORES DA ET_0 NA ESCALA DIÁRIA, PARA O PERÍODO DE INVERNO (JUNHO, JULHO E AGOSTO) DE 2011 A 2013 NA LOCALIDADE DE PARATY-RJ.....	21
TABELA 7 - ÍNDICE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (R), ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA (D) E ÍNDICE DE CONFIANÇA OU DESEMPENHO (C) PARA VALORES DA ET_0 NA ESCALA MENSAL, PARA A LOCALIDADE DE PARATY-RJ	25
TABELA 8 - PARÂMETROS DA REGRESSÃO (B_0 , B_1), COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2), COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R), ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA (D) E ÍNDICE DE CONFIANÇA OU DESEMPENHO (C) PARA VALORES DA ET_0 NA ESCALA DIÁRIA, PARA O PERÍODO DE 2011 A 2013 NA LOCALIDADE DE CAMPOS DOS GOYTACAZES -RJ	26
TABELA 9 – ÍNDICE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (R), ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA (D) E ÍNDICE DE DESEMPENHO (C) PARA OS VALORES DA ET_0 DIÁRIA NO PERÍODO DE VERÃO (DEZ, JAN E FEV) DO PERÍODO DE 2011 A 2013 NA LOCALIDADE DE CAMPOS DOS GOYTACAZES -RJ.....	27
TABELA 10 - ÍNDICE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (R), ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA (D) E ÍNDICE DE DESEMPENHO (C) PARA OS VALORES DA ET_0 DIÁRIA NO PERÍODO DE INVERNO (JUN, JUL E AGO) DO PERÍODO DE 2011 A 2013 NA LOCALIDADE DE CAMPOS DOS GOYTACAZES -RJ	27
TABELA 11 - ÍNDICE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (R), ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA (D) E ÍNDICE DE CONFIANÇA OU DESEMPENHO (C) PARA VALORES DA ET_0 NA ESCALA MENSAL, PARA A LOCALIDADE DE CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ	31
TABELA 12 - PARÂMETROS DA REGRESSÃO (B_0 , B_1), COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2), COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (R), ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA (D) E ÍNDICE DE CONFIANÇA OU DESEMPENHO (C) PARA VALORES DA ET_0 NA ESCALA DIÁRIA, PARA O PERÍODO DE 2011 A 2013 NA LOCALIDADE DE PETRÓPOLIS-RJ	32
TABELA 13 - ÍNDICE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (R), ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA (D) E ÍNDICE DE DESEMPENHO (C) PARA OS VALORES DA ET_0 DIÁRIA NO PERÍODO DE VERÃO (DEZ, JAN E FEV) DO PERÍODO DE 2011 A 2013 NA LOCALIDADE DE PETRÓPOLIS-RJ	33
TABELA 14 - ÍNDICE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (R), ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA (D) E ÍNDICE DE DESEMPENHO (C) PARA OS VALORES DA ET_0 DIÁRIA NO PERÍODO DE INVERNO (JUN, JUL E AGO) DO PERÍODO DE 2011 A 2013 NA LOCALIDADE DE PETRÓPOLIS-RJ.....	33
TABELA 15 - ÍNDICE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (R), ÍNDICE DE CONCORDÂNCIA (D) E ÍNDICE DE CONFIANÇA OU DESEMPENHO (C) PARA VALORES DA ET_0 NA ESCALA MENSAL, PARA A LOCALIDADE DE PETRÓPOLIS-RJ.....	36

1. INTRODUÇÃO

O manejo de água nos empreendimentos agrícolas e florestais é uma tarefa extremamente importante, pois, se por um lado é imprescindível para uma adequada produção, o seu uso inadequado, por outro lado, poderá ocasionar problemas às culturas, erosão no solo, salinização ou comprometimento dos recursos hídricos, dentre outros impactos.

Segundo Ortega-Farias et al. (2009), a disponibilidade de água para irrigação, em todo o mundo, tem sido reduzida, nos últimos anos, devido a secas frequentes e a competição por recursos hídricos entre os usos na agricultura, nas indústrias e o consumo humano. Com as previsões futuras do aumento desse consumo, em face da demanda de alimentos e de uma população cada vez mais crescente, o cenário é preocupante.

Como forma de manter a produtividade agrícola e estabelecer técnicas de gerenciamento dos recursos hídricos em áreas irrigadas são empregadas metodologias para determinação dos fatores que afetam o balanço hídrico deste sistema, sendo possível quantificar as perdas de água (CAPORUSSO & ROLIM 2015). A determinação da quantidade de água necessária para as culturas é um dos principais parâmetros para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação. Sua quantificação é realizada fazendo-se o balanço hídrico da camada do solo ocupada pelo sistema radicular da cultura, o qual tem, a evapotranspiração e a precipitação pluviométrica, seus principais componentes (BERNADO, 1995). De acordo com Allen et al. (1998), a evapotranspiração, é definida como a combinação de dois diferentes processos pela qual a água é perdida, que é pela evaporação da água na superfície do solo e, pela transpiração das plantas.

Existem vários métodos para estimar a evapotranspiração de referência, sendo que muitos tem aceitação quase unanime, enquanto outros são bastante criticados e até desprezados. Dentre os vários métodos que existem para se estimar a ET₀, destaca-se o método de Penman-Monteith, por apresentar um melhor desempenho quando aplicado em diversos tipos de clima, sendo, por este motivo, recomendado pela Organização das

Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) como o modelo padrão para a estimativa da ET_o e calibração de métodos empíricos (ALLEN et al., 1998). Entretanto, este método necessita do conhecimento de vários elementos meteorológicos, que nem sempre encontram-se disponíveis em alguns locais.

A estimativa correta da evapotranspiração serve de subsídios para quantificar a quantidade real de água a ser fornecida ao solo durante a irrigação. Desse modo, estimar a evapotranspiração de forma precisa, contribui para o uso racional dos recursos hídricos naturais e reduz os custos de produção (EMBRAPA, 2010).

Com isso, é importante, antes de escolher o método a ser utilizado para a estimativa da ET_o, saber quais as variáveis meteorológicas disponíveis e, a partir daí, verificar quais métodos podem ser aplicados, uma vez que a utilização dos diferentes métodos para determinado local de interesse, fica na dependência dessas variáveis (ARAUÚJO et al., 2007).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Comparar a evapotranspiração de referência para três localidades no estado do Rio de Janeiro por meio de diferentes equações empíricas.

1.1.2 Objetivos específicos

Determinar o desempenho dos métodos Priestley-Taylor (1972), Hargreaves-Samani (1985), Thornthwaite (1948) e Camargo (1971), em comparação com o método de Penman-Monteith – FAO 56 para a estimativa da evapotranspiração de referência dos municípios de Paraty, Campos dos Goytacazes e Petrópolis, no estado do Rio de Janeiro.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Evapotranspiração

O termo evapotranspiração foi utilizado por Thornthwaite, na década de 40, para expressar a ocorrência simultânea dos processos de evaporação da água no solo e da transpiração das plantas (MENDONÇA et al., 2003). A evapotranspiração (ET) é a variável mais ativa do ciclo hidrológico e a principal componente no balanço hídrico em ecossistemas agrícolas. Portanto, ela é um parâmetro chave para estudos de avaliação ambiental e de manejo de bacias hidrográficas (RAZIEI & PEREIRA, 2013), e para o planejamento e manejo de cultivos agrícolas irrigados, além do gerenciamento de recursos hídricos (ALENCAR et al., 2011).

Como principal responsável pela perda de água nas bacias hidrográficas, a evapotranspiração exerce uma grande influência sobre os processos hidrológicos, sendo que este componente está estreitamente relacionado com a dinâmica da umidade do solo, a recarga dos aquíferos e o escoamento superficial (LIANG et al., 2009).

Os principais elementos climáticos que afetam a evapotranspiração são: radiação solar, temperatura do ar, déficit de pressão de vapor e velocidade do vento. O tipo da cultura, a densidade, a variedade e a fase de crescimento também afetam a evapotranspiração, já que diferenças na resistência estomática, altura da cultura, rugosidade do dossel, refletividade e cobertura do solo pela vegetação resultam em diferentes valores de ET sob as mesmas condições climáticas e de solo (ALLEN et al., 1998).

2.2 Evapotranspiração de referência

O conceito de evapotranspiração de referência foi introduzido por pesquisadores e engenheiros de irrigação para evitar ambiguidades que existiam na definição da evapotranspiração potencial (ET_p) (FRIZZONE, 2004), e foi definido por Doorenbos & Pruitt (1977) como aquela que ocorre em uma extensa superfície coberta com grama de 0,08 a 0,15 m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água (MENDONÇA et al., 2003).

Em 1990, os métodos recomendados pela FAO em 1977 foram submetidos a uma revisão feita por especialistas em evapotranspiração, chegando-se à conclusão de que o método de Penman-Monteith parametrizado para grama, com 12 cm de altura, resistência aerodinâmica da superfície de 70 m s^{-1} e albedo de 0,23, apresentava melhores resultados, passando a ser recomendado pela FAO como método-padrão para estimativa da ET_o (SMITH et al., 1990). Assim, o novo conceito proposto para a ET_p passou a ser, de fato, a ET_o , tornando-se, este conceito, desde então, largamente utilizado, entretanto, apesar da proposição da FAO, ainda é bastante comum o uso dos termos ET_p e ET_o (CARVALHO et al., 2011).

Segundo Carvalho et al. (2011) pode-se inferir que, para estudos climatológicos, o termo ET_p continue sendo o mais utilizado, pois, quase sempre, está ligado à análise do potencial hídrico de uma região, enquanto a ET_o é bastante adequada para projetos e manejo de irrigação, uma vez que a ET_c , normalmente, é determinada em duas etapas, aplicando-se o coeficiente de ajuste K_c à evapotranspiração da cultura de referência (ET_o), que, no caso, é a cultura hipotética.

A evapotranspiração de referência (ET_o) é utilizada nos balanços hídricos agrícolas e na modelagem dos processos climatológicos e hidrológicos, com finalidade de obter estimativa da necessidade de irrigação, na previsão de safras, avaliação de disponibilidade de recursos hídricos e caracterização climática (BACK, 2008).

2.3 Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência

2.3.1 Método de Penman-Monteith - FAO 56

Em 1948, Penman combinou o balanço de energia com o método de transferência de massa e derivou uma equação para calcular a evaporação de uma superfície em águas abertas usando registros do sol, temperatura, umidade e velocidade do vento. Este método, também chamado de método combinado, foi desenvolvido por diversos pesquisadores e estendido às superfícies cultivadas por meio da introdução de fatores de resistência (SILVEIRA et al. 2011).

Mais tarde, na década de 1960, Monteith, com base no método de Penman, propôs um novo método que estimava diretamente a ET_c , denominando-o de Penman-Monteith,

e Doorenbos & Pruitt (1977) introduziram o conceito de evapotranspiração de referência (ET_o), em substituição ao termo ET_p (CARVALHO et al., 2011).

O método Penman-Monteith é de natureza puramente física, embora tenha aspectos empíricos por utilizar a temperatura do ar em lugar da temperatura da superfície evaporante, como é empregada na clássica equação de Dalton (CAMARGO & CAMARGO, 2000).

A FAO recomenda que os métodos empíricos de estimativas da ET_o , sejam calibrados e validados para outras regiões, sendo a equação de Penman-Monteith a referência padrão para esses ajustes, por apresentar excelente correlação com a evapotranspiração medida em lisímetros (ALLEN et al., 1998).

O método de Penman-Monteith requer dados de variáveis climáticas como a temperatura do ar, saldo de radiação, velocidade do vento e umidade do ar e, em muitos locais, essas variáveis não estão todas disponíveis (BACK, 2008). Esta falta de dados meteorológicos leva ao desenvolvimento de abordagens mais simples para estimar a ET_o que exigem apenas alguns parâmetros climáticos (ALENCAR et al., 2011).

2.3.2 Método de Priestley-Taylor (1972)

Uma aproximação empírica da equação de Penman combinada é feita por Priestley-Taylor para eliminar a necessidade de outros dados de entrada climatológicos (STAGNITTI et al., 1989). Analisando observações lisimétricas de evapotranspiração, em condições aparentemente não advectivas, Priestley-Taylor (1972) propuseram uma simplificação do método de Penman (1948), mantendo apenas o termo que contempla o balanço de radiação, corrigindo-o por um coeficiente de ajuste (α). Em suma, α considera a radiação líquida partitionada entre fluxo de calor e evaporação (VISWANADHAM et al., 1991).

A adequação das hipóteses apresentadas na equação de Priestley-Taylor foi validada por uma revisão de 30 estudos de balanço de água, no qual foi encontrado geralmente que, em áreas vegetadas, sem déficit hídrico, ou muito pequenos défices, cerca de 95% da evaporação anual demanda foi suprida pela radiação (STAGNITTI et al., 1989).

Priestley-Taylor (1972), embora simples, tem uma semelhança com a equação padrão Penman-Monteith FAO 56. A diferença está no termo aerodinâmico, que foi suprimido por um coeficiente de calibração (FERNANDES, 2006). Segundo McAneney & Itier (1996), apesar dessa aparente simplicidade, a equação de Priestley-Taylor apresenta suporte experimental substancial, especialmente em regiões úmidas, fato que pode revelar o modo com que as culturas interagem com as condições ambientais quando o solo não apresenta restrição hídrica durante o seu período de crescimento e desenvolvimento.

2.3.3 Método de Hargreaves-Samani (1985)

Hargreaves (1974), em sua primeira equação para estimar a evapotranspiração potencial, utilizou dados de latitude, temperatura média mensal e umidade relativa. Posteriormente o mesmo autor apresentou nova equação simplificada, na qual foi suprimida a umidade relativa e introduzida a radiação global. Essa equação de Hargreaves (1976) assemelha-se à de Camargo (1971). Esta baseia-se na radiação solar extraterrestre, acima da atmosfera, e a de Hargreaves (1976), na radiação global, ao nível do solo (CAMARGO & CAMARGO, 2000).

Usando dados obtidos nos lisímetros de Davis, no estado da Califórnia (clima semiárido), com gramado, Hargreaves-Samani (1985) propuseram um novo método para estimar a evapotranspiração (PEREIRA et al., 1997), considerado uma alternativa para situações em que não se tem dados de radiação solar global, umidade relativa e velocidade do vento (BEZERRA et al., 2014). Com o objetivo de avaliar a aplicabilidade deste novo método, para diferentes partes do mundo, o método foi comparado com outros métodos em Haiti, Bangladesh, Austrália e Estados Unidos (HARGREAVES & SAMANI, 1985).

Esta equação de Hargreaves-Samani tem produzido resultados satisfatórios ao ar livre em diversas partes do mundo, apesar da sua aparente simplicidade (SHAHIDIAN et al., 2011). Allen et al. (1998) propõem o uso da equação de Hargreaves-Samani como alternativa para a estimativa da evapotranspiração, quando somente os dados de temperatura do ar são disponíveis nas estações meteorológicas.

2.3.4 Método de Thornthwaite (1948)

O método de Thornthwaite foi apresentado pela primeira vez em 1944, onde envolvia as variáveis: comprimento do dia, temperatura média diária e umidade relativa média do ar. Posteriormente, com modificações da equação, a variável umidade do ar foi suprimida (EMBRAPA, 2010), permanecendo apenas a temperatura média do ar e o comprimento do dia. A equação de Thornthwaite (1948) é usada comumente em escala mensal.

Thornthwaite e Wilm, em 1944, ao introduzirem o conceito de evapotranspiração potencial buscavam chegar a um elemento meteorológico que representasse a necessidade de água da vegetação, em condições similares à da água fornecida pela precipitação pluvial, e quantificar racionalmente o fator umidade, no clima. Sua resolução mostra-se, porém, trabalhosa. Utiliza um índice "I" complexo, que corresponde ao somatório de doze índices "i" mensais obtidos por equação exponencial (CAMARGO & CAMARGO, 2000).

Há postos meteorológicos em que as únicas informações climáticas medidas são a temperatura do ar e a precipitação. Para esses locais, é necessário ajustar e avaliar a eficiência de métodos empíricos de estimativa da evapotranspiração de referência baseados no dado de temperatura do ar (BACK, 2008). Entre os métodos empíricos baseados na temperatura do ar, o método de Thornthwaite apresentou desempenho bom para as condições úmidas do interior paulista quando comparado com dados obtidos em evapotranspirômetros (CAMARGO & SENTELHAS, 1997).

Segundo Camargo & Camargo (2000), em climas úmidos o modelo de Thornthwaite funciona adequadamente, no entanto, em climas muito secos, subestima a ET₀ por não considerar a energia advectiva recebida de áreas secas distantes. O modelo de Thornthwaite pode ser ajustado para melhorar as estimativas da ET₀ em condições de clima seco e clima superúmido. Esse ajuste baseia-se no emprego de uma temperatura média ajustada em função da amplitude térmica diária.

Sua maior utilização, contudo, é para estimativa do balanço hídrico, cujos resultados têm sido largamente usados, como parâmetros, para estabelecer comparações

entre condições climáticas reinantes em áreas distintas, com vistas à realização de zoneamento agroclimático (AMORIM et al., 1999).

2.3.5 Método de Camargo (1971)

Camargo, na década de 60, substituiu no nomograma de Thornthwaite o complexo índice I por um índice T, que corresponde simplesmente à temperatura média anual da região. Posteriormente, Camargo preparou uma tabela simples para obter o valor de ET_o diário, não corrigido pela latitude, com base no índice T, o qual facilitou a estimativa da ET_o (CAMARGO E CAMARGO, 2000).

Na década de 70, Camargo, baseado em resultados obtidos pelo método de Thornthwaite, propôs um novo método, mais simples e com eficiência semelhante ao de Thornthwaite. Essa metodologia é baseada apenas em dados de temperatura média do ar e radiação solar extraterrestre (EMBRAPA, 2010), e foi desenvolvida pelo método analítico baseando-se em resultados da ET_o estimados para mais de uma centena de localidades (CAMARGO & CAMARGO, 2000).

3. METODOLOGIA

3.1 Local e base de dados

O trabalho foi feito com base nos municípios de Paraty, Campos dos Goytacazes e Petrópolis situados, respectivamente, nas regiões Sul, Norte e Serrana do Estado do Rio de Janeiro, conforme a Figura 1.

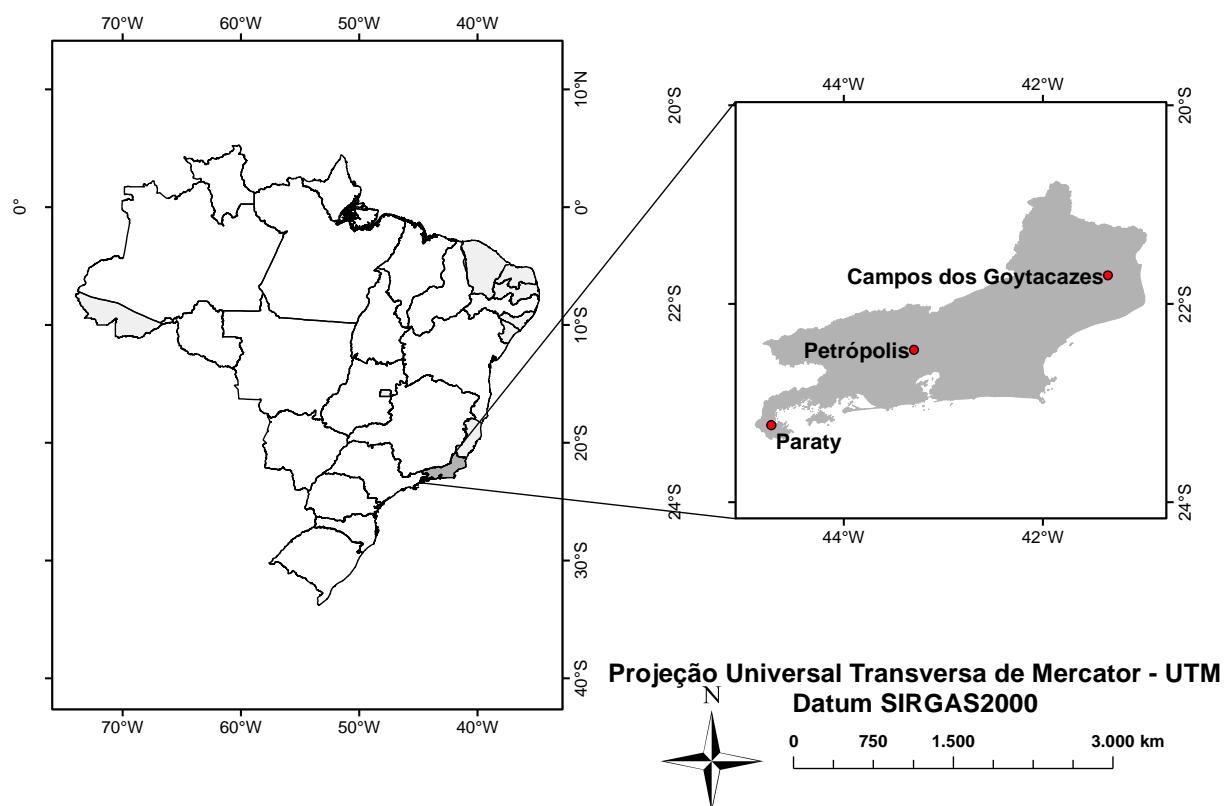


Figura 1 - Mapa com a localização das estações meteorológicas utilizadas no estudo

De acordo com a classificação de Köppen, em trabalho publicado por Kotttek et al. (2006), o clima predominante nas regiões de Paraty e de Campos dos Goytacazes, é classificado como do tipo ‘Aw’, sendo o clima tropical, com chuvas no verão. A região de Petrópolis, tem seu clima classificado por Köppen como do tipo ‘Cwb’, caracterizado por clima temperado marítimo/clima tropical de altitude, típico das regiões serranas.

Os dados necessários para estimativa da ET₀ foram obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para as estações meteorológicas automáticas dos municípios em estudo (Tabela 1). Foram utilizadas as seguintes variáveis: temperatura média,

máxima e mínima do ar, umidade relativa média, máxima e mínima do ar, radiação solar acumulada e velocidade do vento referentes ao período de 01 de janeiro de 2011 até 31 de dezembro de 2013, oriundas das estações automatizadas agrometeorológicas denominadas AGROMET instaladas nos municípios de Paraty, Campos dos Goytacazes e Petrópolis.

Tabela 1 – Código, localização geográfica, altitude e período utilizado das estações meteorológicas avaliadas nesse estudo

Estação	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período
Paraty	86913	23,22	44,72	4	2011-2013
Campos G.	86855	21,70	41,35	25	2011-2013
Petrópolis	86876	22,45	43,28	1777	2011-2013

Os cálculos da ET_o para todos os métodos em estudo foram realizados por intermédio de planilha eletrônica. Com o propósito de tornar os dados das variáveis agrometeorológicas mais homogêneos, foi feita uma verificação e posteriormente eliminação daquelas informações consideradas discrepantes, incompletas e até inconsistentes visando obter agrupamentos de dados mais representativos. Com isso, a discussão foi realizada baseando-se nos resultados obtidos da evapotranspiração de referência diária no período de 2011 a 2013.

3.2 Evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith – FAO 56

Este método, recomendado pela FAO, considera a altura da grama fixada em 0,12 m, a resistência estomática de 70 m s^{-1} e albedo de 0,23.

Para a estimativa de ET_o pelo método de Penman-Monteith - FAO 56 utilizou-se a Equação 1 (ALLEN et al., 1998).

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

em que:

ET_o = evapotranspiração de referência diária calculada;

Δ = declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura, $kPa^{\circ}C^{-1}$ (Equação 2);

Rn = saldo de radiação diário, $MJ m^{-2} dia^{-1}$ (Equação 3);

G = fluxo total diário de calor no solo, $MJ m^{-2} dia^{-1}$. Foi considerado o valor de $G = 0$, de acordo com Allen et al. (1998).

γ = coeficiente psicrométrico, $0.067 kPa^{\circ}C^{-1}$;

U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura, $m s^{-1}$;

e_s = pressão de saturação de vapor, kPa ;

e_a = pressão atual de vapor, kPa ; e

T = temperatura média do ar, $^{\circ}C$.

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 e^{\left(\frac{17,27T}{T+237,3} \right)} \right]}{(T+237,3)^2} \quad (2)$$

Como as estações em estudo neste trabalho não dispõem de sensores para determinação de Rn , o saldo de radiação foi estimado pela equação 3:

$$Rn = Rns - Rnl \quad (3)$$

em que:

Rns = saldo de radiação de ondas curtas, $MJ m^{-2} dia^{-1}$ (Equação 4); e

Rnl = saldo de radiação de ondas longas, $MJ m^{-2} dia^{-1}$ (Equação 5).

$$Rns = 0,77 R_s \quad (4)$$

em que:

R_s = radiação solar incidente, $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, medida na estação meteorológica.

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{(T_{\max}+273,16)^4 + (T_{\min}+273,16)^4}{2} \right] (0,34 - 0,14\sqrt{ea}) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (5)$$

em que:

σ = constante de Stefan-Boltzmann, $4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$;

T_{\max} = temperatura máxima do ar, $^{\circ}\text{C}$;

T_{\min} = temperatura mínima do ar, $^{\circ}\text{C}$; e

R_{so} = radiação solar incidente na ausência de nuvens, $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Equação 6).

$$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z) R_a \quad (6)$$

em que:

z = altitude da estação meteorológica, m; e

R_a = radiação solar no topo da atmosfera, $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Equação 7).

$$R_a = \frac{118,08 \text{ dr}}{\pi} [\omega s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega s)] \quad (7)$$

em que:

dr = distância inversa relativa entre a Terra e o Sol, radianos (Equação 8);

φ = latitude do local, radianos;

δ = declinação solar, radianos (Equação 9); e

ωs = ângulo horário ao nascer do sol, radianos (Equação 10).

$$dr = 1 + 0,033 \cos \left(\frac{2\pi}{365} J \right) \quad (8)$$

em que:

J = dia juliano.

$$\delta = 0,409 \operatorname{sen} \left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39 \right) \quad (9)$$

$$\omega_s = \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctan} \left[\frac{-\tan(\phi)\tan(\delta)}{X^{0,5}} \right] \quad (10)$$

em que:

$$X = (1 - [\tan(\phi)]^2 [\tan(\delta)]^2) \quad (11)$$

Os valores de e_s e e_a foram calculados por meio das equações 12 e 13.

$$e_s = 0,6108 e^{\left(\frac{17,27T}{T+237,3} \right)} \quad (12)$$

$$e_a = \frac{e_s * UR}{100} \quad (13)$$

em que:

UR = umidade relativa média do ar, %.

3.3 Evapotranspiração de referência pelo método de Priestley-Taylor (1972)

Os valores de evapotranspiração estimados pelo método de Priestley-Taylor foram obtidos pela Equação 14.

$$ET_o = \frac{\alpha W (Rn-G)}{\lambda} \quad (14)$$

em que:

ET_o = evapotranspiração de referência diária calculada;

α = parâmetro de Priestley-Taylor, igual a 1,26;

W = fator de ponderação (Equação 15); e

λ = calor latente da água a 20°C, 2,45 MJ.Kg⁻¹.

$$W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \quad (15)$$

3.4 Evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves-Samani (1985)

O cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves-Samani é mais empírico que o método de Penman-Monteith. Este método é utilizado quando não existem dados de radiação global solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento (EMBRAPA, 2010). Neste caso, o cálculo da evapotranspiração de referência foi feito a partir da Equação 16.

$$ET_o = 0,408 \cdot 0,0023 \cdot (T+17,8) \cdot (T_{max}-T_{min})^{0,5} \cdot Ra \quad (16)$$

em que:

ET_o = evapotranspiração de referência diária calculada;

T = temperatura média do ar, °C;

T_{max} = temperatura máxima do ar, °C;

T_{min} = temperatura mínima do ar, °C; e

Ra = radiação solar extraterrestre, MJ m⁻² dia⁻¹ (Equação 7).

3.5 Evapotranspiração de referência pelo método de Thornthwaite (1948)

A evapotranspiração potencial (mm) em escala mensal foi obtida pela Equação 17 ou 18.

$$ET_o = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a \quad | \quad \text{para } 0^{\circ}\text{C} \leq T < 26,5^{\circ}\text{C} \quad (17)$$

$$ET_o = -415,85 + 32,24T - 0,43T^2 \quad | \quad \text{para } T \geq 26,5^{\circ}\text{C} \quad (18)$$

As equações 17 e 18 obteve valores de evapotranspiração para uma condição padrão, ou seja, com 12 horas de fotoperíodo e mês com 30 dias. A evapotranspiração

diária foi obtida dividindo a ET_o pelo número de dias do mês, como mostra a equação 19.

$$ET_o = \frac{ET_{o\text{m}}}{ND} \quad (19)$$

em que:

ND = número de dias do mês.

Este método baseia-se em um índice de eficiência de temperatura anual (I) (Equação 20), o qual é caracterizado pela soma de 12 valores mensais do índice de calor (i) (Equação 21).

$$I = \sum_1^{12} i \quad (20)$$

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad (21)$$

Para conseguir calcular a evapotranspiração potencial, foi necessário obter o valor do coeficiente “a”, o qual é baseado no índice de calor anual (Equação 22).

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} * I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} * I^2 + 0,01791 * I + 0,49239 \quad (22)$$

3.6 Evapotranspiração de referência pelo método de Camargo (1971)

Método empírico, baseado no método de Thornthwaite. Este método tem uma vantagem, em relação ao método de Thornthwaite, que é a não necessidade de obter a temperatura média anual normal. A evapotranspiração pelo método de Camargo foi obtida pela equação 23.

$$ET_o = 0,01 * Ra * T ND \quad (23)$$

3.7 Análise estatística

Para realizar a análise estatística do desempenho, de cada um dos métodos empíricos para o cálculo da ET_o estudados, foi feito uma correlação entre os valores estimados pelos métodos empíricos e os valores obtidos pelo método padrão de Penman-Monteith – FAO 56, baseando-se nos indicadores estatísticos propostos por Camargo & Sentelhas (1997), que são: coeficiente de correlação de Pearson (*r*), índice de concordância de Willmott (*d*) e índice de confiança ou desempenho de Camargo (*c*).

A precisão foi dada pelo coeficiente de determinação (*r*²) que indica o grau em que a regressão explica a soma do quadrado total. Na análise de regressão linear simples, o coeficiente de regressão (β_1) representa a razão entre a estimativa da evapotranspiração obtida no método em estudo e a evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão, quando a constante de regressão (β_0) é anulada. O β_1 foi obtido por meio da equação 24. O β_0 foi obtido pela equação 25.

$$\beta_1 = \frac{\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n}}{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}} \quad (24)$$

em que:

β_1 = coeficiente de regressão;

x_i = valores diários da ET_o obtidos pelo método padrão;

y_i = valores diários da ET_o estimados pelos métodos empíricos; e

n = número de elementos de cada variável x e y.

$$\beta_0 = \bar{Y} - \beta_1 \bar{x} \quad (25)$$

em que:

β_0 = constante de regressão;

\bar{Y} = média dos valores diários da ET_o estimados pelos métodos empíricos; e

\bar{x} = média dos valores diários da ET_o obtidos pelo método padrão.

Foi utilizado o programa computacional IRENE (Integrated Resources for Evaluating Numerical Estimates) para a determinação dos índices estatísticos r, dado pela equação 26 e d dado pela equação 27. A partir destes dois valores, foi calculado o índice c, por intermédio da equação 28.

$$r = \sum \frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum (x_i - \bar{x})^2)(\sum (y_i - \bar{y})^2)}} \quad (26)$$

em que:

r = índice de correlação de Pearson.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (27)$$

em que:

d = índice de concordância ou ajuste;

P_i = evapotranspiração de referência obtida pelo método a ser testado, mm dia⁻¹;

O_i = evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão, mm dia⁻¹;

\bar{O} = média dos valores obtidos pelo método padrão, mm dia⁻¹; e

N = número de observações.

$$c = r * d \quad (28)$$

em que:

c = índice de confiança, ou desempenho, de Camargo.

Na Tabela 2 está representada a classificação apresentada por Camargo & Sentelhas (1997) para análise do índice c.

Tabela 2 - Critério para análise da performance dos métodos empíricos pelo índice c

Índice c	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

A classificação sugerida por Silva & Barros Filho (2003) para o coeficiente de correlação está representada na tabela abaixo (Tabela 3).

Tabela 3 – Critério para análise dos valores do coeficiente de correlação de Pearson (r)

Valores do coeficiente (r)	Classificação da correlação
1	Perfeita Positiva
0,70 a 0,99	Muito Forte Positiva
0,30 a 0,69	Moderada Positiva
0,01 a 0,29	Fraca Positiva
0	Nenhuma
-0,01 a -0,29	Fraca Negativa
-0,30 a -0,69	Moderada Negativa
-0,70 a -0,99	Muito Forte Negativa
-1	Perfeita Negativa

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Paraty

A análise comparativa entre os valores de evapotranspiração obtidos pelos métodos empíricos estudados e os valores estimados pelo método de Penman-Monteith – FAO 56, encontra-se na Tabela 4. Os resultados obtidos no período de 2011 a 2013 para a localidade de Paraty-RJ, na escala diária, mostraram que o método de Priestley-Taylor apresentou o melhor índice de desempenho ($c = 0,929$), sendo classificado como ótimo. Com um desempenho um pouco inferior, porém classificado como muito bom, está o método de Hargreaves-Samani com índice c de 0,77. O método de Thornthwaite foi caracterizado como sofrível ($c = 0,511$) e o método de Camargo apresentou o pior desempenho, com o índice $c = 0,504$, sendo classificado como mau.

Gonçalves et al. (2009) e Silva et al. (2010) em estudos feitos para o município de Sobral, CE, encontraram, também, desempenhos classificados como muito bom para o método de Hargreaves-Samani, com índices de confiança c de 0,76 e 0,80, respectivamente.

Fanaya Junior et al. (2012), avaliando métodos empíricos para estimativa da evapotranspiração de referência para Aquidauana, MS, encontraram valores semelhantes de índice de confiança de Camargo de 0,90 (Ótimo) e 0,77 (Muito Bom), para os métodos de Priestley-Taylor e Hargreaves-Samani, respectivamente.

Os métodos de Priestley-Taylor e de Hargreaves-Samani apresentaram uma correlação positiva muito forte com o modelo de Penman estudado, com valores de r igual a 0,95 e 0,85, respectivamente. Os modelos de Thornthwaite e de Camargo apresentaram coeficiente r igual a 0,667, sendo classificado como correlação moderada positiva.

Em relação ao método de Thornthwaite, este teve valor semelhante ao encontrado por Maeda et al. (2011) em determinada região do Quênia. Já Gonçalves et al., (2009) comparando diferentes métodos de evapotranspiração no município de Sobral, CE, observaram resultado semelhante para o método de Camargo, sendo o coeficiente de Pearson verificado de 0,66.

O coeficiente de regressão β_1 encontrado para o método de Priestley-Taylor é o mais próximo de 1 ($\beta_1 = 1,088$), e a constante de regressão β_0 é a mais próxima de 0 ($\beta_0 = -0,22$), o que indica uma melhor razão entre os valores estimados por este método e os valores estimados pelo método de Penman-Monteith FAO 56.

Tabela 4 - Parâmetros da regressão (β_0 , β_1), coeficiente de determinação (r^2), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d) e índice de confiança ou desempenho (c) para valores da ET_0 na escala diária, para o período de 2011 a 2013 na localidade de Paraty-RJ

Métodos	β_0	β_1	r^2	r	d	c	Classificação
Priestley-Taylor	-0,22	1,088	0,903	0,950	0,978	0,929	Ótimo
Hargreaves-Samani	1,27	0,745	0,732	0,856	0,902	0,772	Muito Bom
Thornthwaite	1,19	0,539	0,444	0,667	0,767	0,511	Sofrível
Camargo	1,48	0,466	0,445	0,667	0,756	0,504	Mau

Os resultados das comparações entre os valores da ET_0 para os períodos de verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) e inverno (Junho, Julho e Agosto) estão apresentados nas Tabelas 5 e 6, respectivamente. Os métodos de Priestley-Taylor e o de Hargreaves-Samani, ambos apresentaram um maior índice de desempenho c no período de inverno, em relação ao período de verão com índices c igual a 0,864 e 0,825, e 0,795 e 0,518, respectivamente. O melhor desempenho do método de Hargreaves-Samani no período de inverno é mais significativo do que para o método de Priestley-Taylor, que passou de uma classificação sofrível para um desempenho caracterizado como muito bom. Já os métodos de Thornthwaite e de Camargo foram classificados como péssimo em ambos os períodos. Porém no período de verão o método de Camargo obteve o menor valor de c ($c = 0,212$), enquanto no período de inverno o método de Thornthwaite obteve o menor valor ($c = 0,133$).

Tabela 5 - Índice de correlação de Pearson (r), índice de concordância (d) e índice de confiança ou desempenho (c) para valores da ET₀ na escala diária, para o período de verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) de 2011 a 2013 na localidade de Paraty-RJ

Métodos	r	d	c	Classificação
Priestley-Taylor	0,89	0,926	0,825	Muito Bom
Hargreaves-Samani	0,68	0,757	0,518	Sofrível
Thornthwaite	0,54	0,698	0,377	Péssimo
Camargo	0,45	0,468	0,212	Péssimo

Tabela 6 - Índice de correlação de Pearson (r), índice de concordância (d) e índice de confiança ou desempenho (c) para valores da ET₀ na escala diária, para o período de inverno (Junho, Julho e Agosto) de 2011 a 2013 na localidade de Paraty-RJ

Métodos	r	d	c	Classificação
Priestley-Taylor	0,924	0,935	0,864	Ótimo
Hargreaves-Samani	0,879	0,905	0,795	Muito Bom
Thornthwaite	0,262	0,507	0,133	Péssimo
Camargo	0,511	0,512	0,262	Péssimo

Estão representados nas Figuras 2, 3, 4 e 5, respectivamente, os gráficos de dispersão baseado na análise de regressão linear simples de cada um dos métodos estudados em função do método de Penman-Monteith – FAO 56, para a ET₀ diária no período de 2011 a 2013. O método de Priestley-Taylor apresenta o maior coeficiente de determinação ($r^2 = 0,9031$), o que mostra uma correlação muito forte entre tal método e o método padrão. Pode ser verificado, no diagrama de dispersão, que os valores de ET₀ de Priestley-Taylor tendem a acompanhar a linha de regressão. Tal valor de r^2 para a linha de tendência demonstra a viabilidade da utilização da equação de Priestley-Taylor na determinação da ET₀ para esta localidade, numa escala diária.

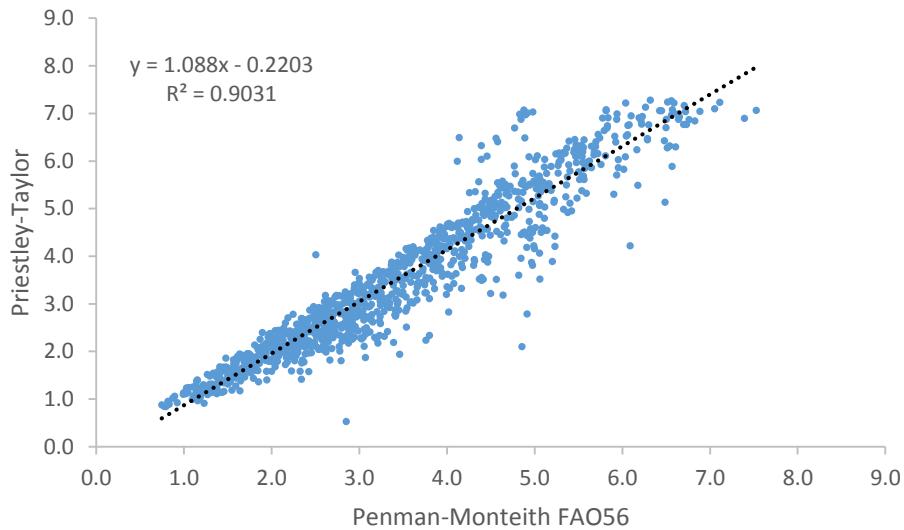


Figura 2 – Gráfico de dispersão linear para os métodos Penman-Monteith FAO 56 e Priestley-Taylor

Na análise do método de Hargreaves-Samani, observa-se que a linha de tendência apresenta menor ‘ r^2 ’ (0,7322) em relação ao método de Priestley-Taylor, mas ainda sim nota-se uma correlação positiva muito forte.

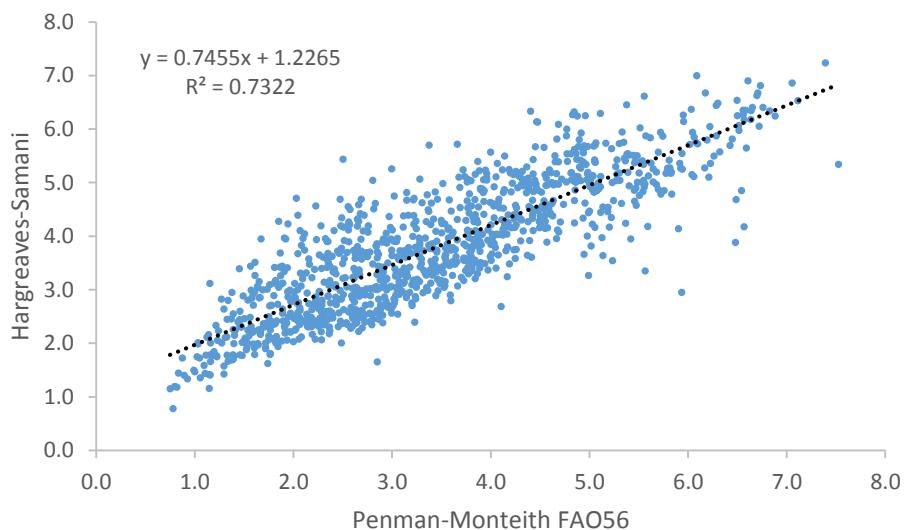


Figura 3 - Gráfico de dispersão linear para os métodos Penman-Monteith FAO 56 e Hargreaves-Samani

Para os métodos de Thornthwaite e de Camargo, a linha de tendência apresenta um ‘ r^2 ’ ainda menor (0,44), onde nota-se uma alta dispersão ao redor da linha de regressão. Tais valores demonstram uma não viabilidade da utilização das equações destes métodos, neste caso, especificamente.

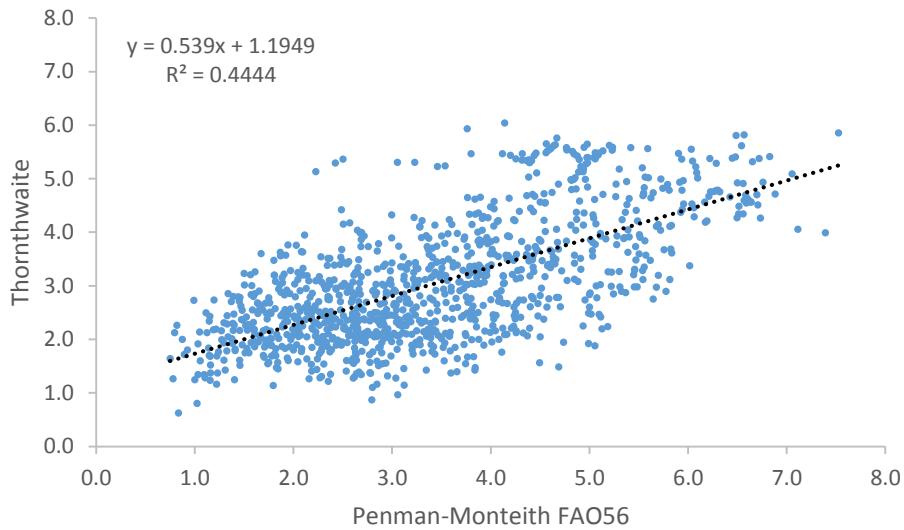


Figura 4 - Gráfico de dispersão linear para os métodos Penman-Monteith FAO 56 e Thornthwaite

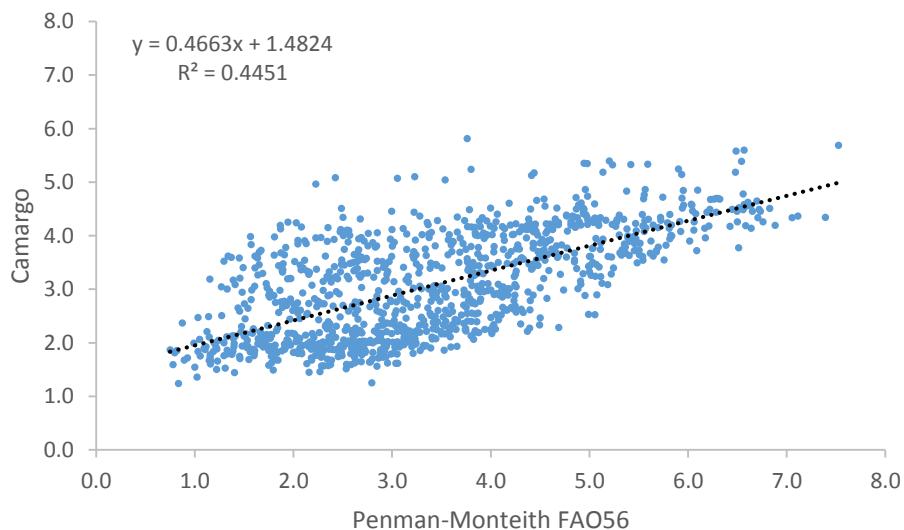


Figura 5 - Gráfico de dispersão linear para os métodos Penman-Monteith FAO 56 e Camargo

Para a análise do comportamento da tendência e da magnitude da ET₀, durante o período de estudo, em uma escala mensal, entre os métodos avaliados e o método de Penman-Monteith – FAO 56, observa-se o gráfico apresentado na figura 6. Nota-se que os modelos de Priestley-Taylor e Hargreaves-Samani mostraram alta similaridade com a curva de Penman-Monteith – FAO 56. Em relação à magnitude, levando em conta a diferença média mensal, o modelo de Priestley-Taylor mostrou a maior similaridade onde superestimou o modelo de Penman em 2,4 mm por mês. O modelo de Thornthwaite

mostrou uma maior similaridade nos meses mais chuvosos do ano, enquanto nos meses mais secos observou-se valores subestimados em relação ao modelo de Penman. O modelo de Thornthwaite também apresentou a maior diferença mensal, onde na média subestimou os valores da ET_o em 11,5 mm por mês. Já o modelo de Camargo apresentou uma maior similaridade no período de inverno, embora, no geral, tenha se mostrado similar ao modelo de Penman-Monteith – FAO 56, na escala mensal.

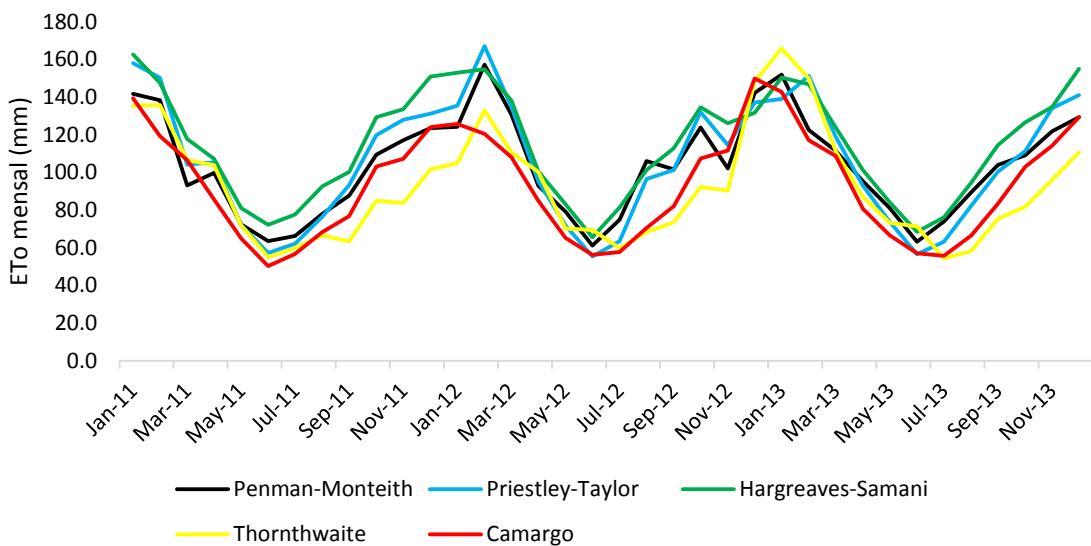


Figura 6 - Evolução da evapotranspiração de referência para cada mês do período estudado, de todos os métodos avaliados, na localidade de Paraty

Na tabela 7 está representado os índices estatísticos calculados, para a região de Paraty-RJ, para a ET_o na escala mensal. Nota-se que, para esta localidade, e para esta escala, os valores do índice de desempenho c foram muito expressivos. De todos os métodos estudados, apenas o método de Thornthwaite foi classificado como bom, com um índice c de 0,74. Os outros três métodos estudados, Priestley-Taylor, Hargreaves-Samani e Camargo, foram classificados como ótimo, com valores de c de 0,94, 0,88 e 0,86, respectivamente.

Em relação ao coeficiente de correlação de Pearson, todos os métodos estudados apresentaram uma correlação positiva Muito Forte com o método de Penman-Monteith – FAO 56. Os valores dos índices de concordância se mostraram bem próximos dos valores de r . Esses resultados demonstram uma viabilidade, no uso de qualquer um dos

métodos estudados, na estimativa da ET_o , em escala mensal, para a localidade de Paraty-RJ.

Observa-se um desempenho, dos métodos de Thornthwaite e Camargo, muito superior, na estimativa da evapotranspiração em escala mensal, comparado ao desempenho obtido na estimativa da ET_o em escala diária. Isto pode ser explicado devido ao fato destes métodos terem sido propostos para escala temporal mensal, e não diária.

Tabela 7 - Índice de correlação de Pearson (r), índice de concordância (d) e índice de confiança ou desempenho (c) para valores da ET_o na escala mensal, para a localidade de Paraty-RJ

Métodos	r	d	c	Classificação
Priestley-Taylor	0,97	0,97	0,94	Ótimo
Hargreaves-Samani	0,95	0,93	0,88	Ótimo
Thornthwaite	0,85	0,88	0,74	Bom
Camargo	0,93	0,93	0,86	Ótimo

4.2 Campos dos Goytacazes

Os resultados da análise comparativa dos valores de evapotranspiração, encontrados pelos métodos estudados no presente trabalho, no período de 2011 a 2013, estão apresentados na Tabela 8. Dentre os quatro métodos empíricos avaliados, o método de Priestley-Taylor foi o que apresentou o melhor índice de desempenho ($c = 0,833$), sendo, este, classificado como muito bom. Em seguida, caracterizado com um desempenho bom, aparece o método de Hargreaves-Samani, com um índice c igual a 0,736, resultado próximo ao encontrado por Gonçalves et al. (2009) e Silva et al. (2009). Os métodos de Thornthwaite e de Camargo não apresentaram bom desempenho, segundo o índice de desempenho, sendo o método de Thornthwaite classificado como sofrível ($c = 0,518$) e o método de Camargo como mau ($c = 0,413$).

De acordo com a classificação de Silva & Barros Filho (2003), os métodos de Priestley-Taylor, Hargreaves-Samani e de Thornthwaite apresentaram correlação positiva muito forte, com valores acima de 0,70. Já o modelo de Camargo foi caracterizado com uma correlação moderada positiva ($r = 0,667$).

Carvalho et al. (2015), avaliando a estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos limitados, para a região sudeste do Brasil, também encontraram uma correlação muito forte entre os métodos de Penman-Monteith FAO 56 e Hargreaves-Samani, para a localidade de Campos dos Goytacazes.

O coeficiente de regressão β_1 encontrado para o método de Priestley-Taylor é, novamente, o mais próximo de 1 ($\beta_1 = 1,088$), e a constante de regressão β_0 é a mais próxima de 0 ($\beta_0 = -0,22$), o que indica uma melhor razão entre os valores estimados por este método e os valores estimados pelo método de Penman-Monteith FAO 56.

Tabela 8 - Parâmetros da regressão (β_0 , β_1), coeficiente de determinação (r^2), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d) e índice de confiança ou desempenho (c) para valores da ET_0 na escala diária, para o período de 2011 a 2013 na localidade de Campos dos Goytacazes -RJ

Métodos	β_0	β_1	r^2	r	d	c	Classificação
Priestley-Taylor	0,16	0,836	0,828	0,910	0,916	0,833	Muito Bom
Hargreaves-Samani	1,32	0,589	0,777	0,882	0,835	0,736	Bom
Thornthwaite	1,28	0,439	0,552	0,743	0,697	0,518	Sofrível
Camargo	1,59	0,359	0,444	0,667	0,620	0,413	Mau

Nas Tabelas 9 e 10, encontram-se os resultados obtidos para os períodos de verão e de inverno, respectivamente. Os métodos de Priestley-Taylor e Thorntwaite apresentaram melhores resultados para o período de verão, em relação ao período de inverno, enquanto os métodos de Hargreaves-Samani e de Camargo tiveram índices de desempenho mais altos no período de inverno do que no período de verão. O desempenho de Priestley-Taylor foi classificado como muito bom ($c = 0,775$) no período de verão e como sofrível ($0,577$) no período de inverno. Ao contrário, o método de Hargreaves-Samani obteve um desempenho sofrível ($c = 0,538$) no período de verão e no período de inverno, foi caracterizado como bom ($c = 0,714$). Já o método de Thorntwaite teve seu desempenho classificado como mau ($c = 0,425$) no período de verão e péssimo ($c = 0,251$) no período de inverno. O método de Camargo foi caracterizado como péssimo em ambos os períodos, porém obteve melhor resultado no período de inverno ($c = 0,322$) em relação ao período de verão ($c = 0,229$).

O método de Hargreaves-Samani, foi proposto, inicialmente, para o estado da Califórnia, o qual se caracteriza com um clima semiárido, com baixa umidade. Isto pode explicar os melhores desempenhos encontrados para este método no período de inverno, que é um período mais seco, com uma menor umidade relativa do ar, sendo semelhante ao clima do estado da Califórnia. O método de Thornthwaite apresenta uma melhor correlação com o método de Penman-Monteith FAO 56 no período de verão, período de maior umidade, em relação ao período de inverno, com menor umidade, corroborando com os estudos de Camargo e Camargo (2000), os quais dizem que em climas muito secos o método de Thornthwaite subestima a ET_0 , por não considerar a energia advectiva recebida de áreas secas distantes.

Tabela 9 – Índice de correlação de Pearson (r), índice de concordância (d) e índice de desempenho (c) para os valores da ET_0 diária no período de verão (Dez, Jan e Fev) do período de 2011 a 2013 na localidade de Campos dos Goytacazes -RJ.

Métodos	r	d	c	Classificação
Priestley-Taylor	0,864	0,896	0,775	Muito Bom
Hargreaves- Samani	0,751	0,717	0,538	Sofrível
Thornthwaite	0,674	0,631	0,425	Mau
Camargo	0,444	0,516	0,229	Péssimo

Tabela 10 - Índice de correlação de Pearson (r), índice de concordância (d) e índice de desempenho (c) para os valores da ET_0 diária no período de inverno (Jun, Jul e Ago) do período de 2011 a 2013 na localidade de Campos dos Goytacazes -RJ.

Métodos	r	d	c	Classificação
Priestley-Taylor	0,821	0,703	0,577	Sofrível
Hargreaves- Samani	0,896	0,798	0,714	Bom
Thornthwaite	0,481	0,522	0,251	Péssimo
Camargo	0,668	0,481	0,322	Péssimo

Nota-se, no gráfico de dispersão abaixo (Figura 7), que o método de Priestley-Taylor obteve uma correlação muito forte com o método de Penman-Monteith – FAO 56, apresentando um coeficiente de determinação (r^2) igual a 0,8287. Fernandes (2006),

em estudo feito também para Campos dos Goytacazes, observou uma correlação muito forte entre os métodos de Priestley-Taylor e Penman-Monteith FAO 56, para estimativa da ET_o em escala diária.

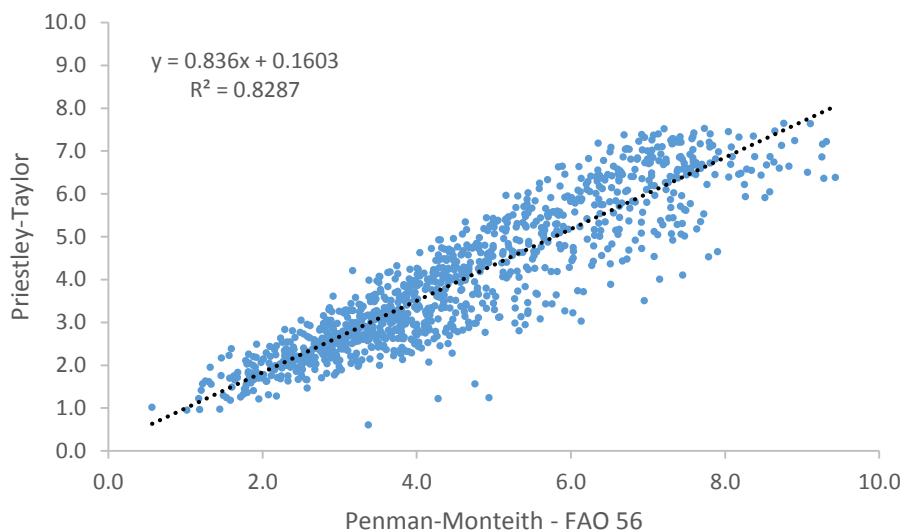


Figura 7 - Gráfico de dispersão linear para os métodos Penman-Monteith FAO 56 e Priestley-Taylor

O modelo de Hargreaves-Samani também apresentou uma dispersão baixa ao redor da linha da reta de regressão (Figura 8), o que mostra uma correlação muito forte entre os dois modelos analisados, com um coeficiente de determinação no valor de 0,777.

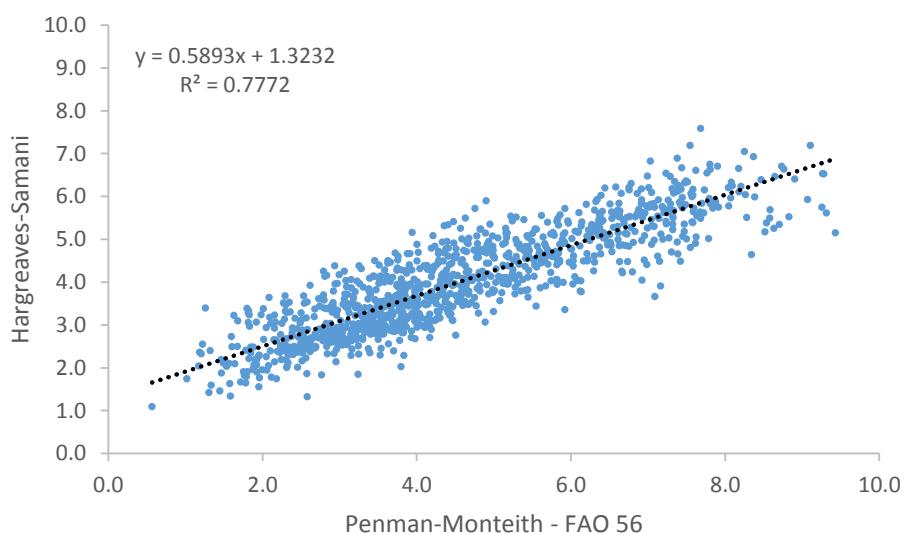


Figura 8 - Gráfico de dispersão linear para os métodos Penman-Monteith FAO 56 e Hargreaves-Samani

Os métodos de Thornthwaite e Camargo, apresentaram coeficientes de determinação nos valores de 0,5522 e 0,4446, como mostra as Figuras 9 e 10. Nota-se nesses dois modelos uma alta dispersão dos valores de ET_o ao redor da linha da reta de regressão do método de Penman-Monteith – FAO 56, mas ainda assim o primeiro modelo apresenta uma melhor correlação.

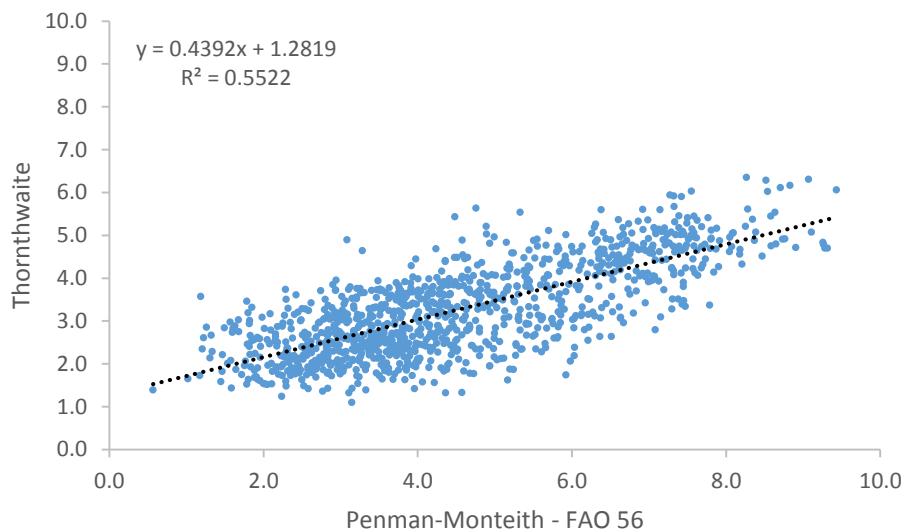


Figura 9 - Gráfico de dispersão linear para os métodos Penman-Monteith FAO 56 e Thornthwaite

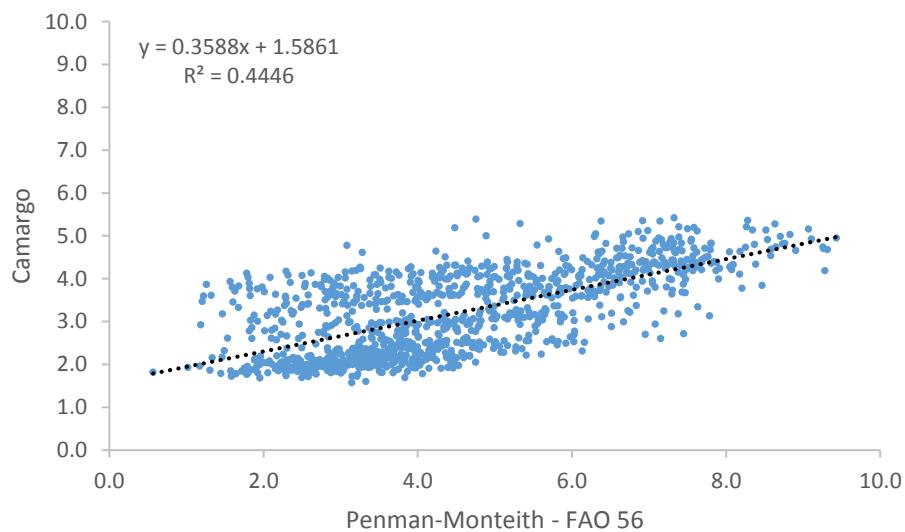


Figura 10 - Gráfico de dispersão linear para os métodos Penman-Monteith FAO 56 e Camargo

Na figura 11 que mostra a análise do comportamento da tendência e da magnitude da ET_o , na escala mensal, durante o período de estudo, nota-se uma similaridade na tendência da curva, porém no que se refere a magnitude dos valores, observa-se que

todos os métodos avaliados tendem a subestimar os valores da ET_o de Penman-Monteith – FAO 56. Na média, o método de Camargo foi o que mais subestimou os valores (média de 39,9 mm), seguido pelos métodos de Thornthwaite (38,1 mm), Priestley-Taylor (17,7 mm) e Hargreaves-Samani (16,2 mm).

Fernandes (2006), obteve resultados semelhantes, nas curvas de estimativa de ET_o em escala mensal, em estudo para o município de Campos dos Goytacazes, para os métodos de Camargo e Thornthwaite. Neste estudo, o autor observou que a equação de Camargo apresentou estimativas sempre distanciadas da equação de Penman-Monteith FAO 56, e o método de Thornthwaite apresentou problemas de estimativa entre os meses de julho e novembro com relação ao método de Penman-Monteith FAO 56.

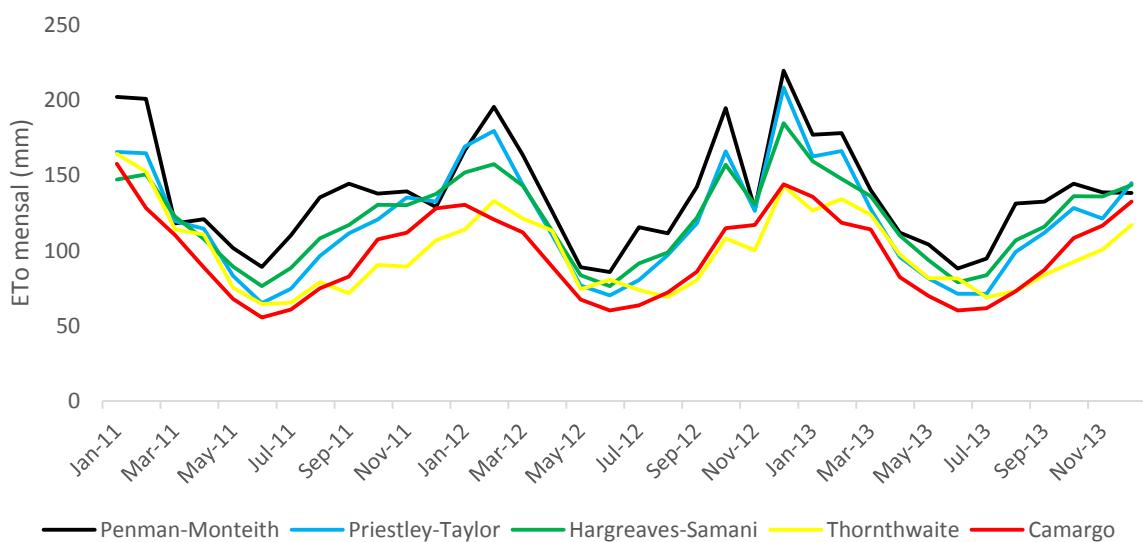


Figura 11 - Evolução da evapotranspiração de referência para cada mês do período estudado, de todos os métodos avaliados, na localidade de Campos dos Goytacazes, RJ

Nota-se, que os resultados observados na figura anterior, ficam mais evidentes na Tabela 11. Observa-se que, todos os métodos estudados tenham apresentaram valores do coeficiente r altos, sendo suas correlações com o método de Penman-Monteith – FAO 56, todas classificadas como Muito Forte. Porém, os desempenhos dos métodos estudados foram bem distintos. Os modelos de Priestley-Taylor e Hargreaves-Samani, apresentaram desempenhos ótimo e muito bom, respectivamente, enquanto os modelos de Thornthwaite e Camargo, foram classificados como apresentando desempenho sofrível.

Tabela 11 - Índice de correlação de Pearson (r), índice de concordância (d) e índice de confiança ou desempenho (c) para valores da ET₀ na escala mensal, para a localidade de Campos dos Goytacazes-RJ

Métodos	r	d	c	Classificação
Priestley-Taylor	0,94	0,91	0,86	Ótimo
Hargreaves-Samani	0,92	0,88	0,81	Muito Bom
Thornthwaite	0,81	0,65	0,52	Sofrível
Camargo	0,83	0,66	0,55	Sofrível

4.3 Petrópolis

Os resultados das comparações dos valores de evapotranspiração obtidos pelos métodos empíricos estudados em relação ao método padrão de Penman-Monteith – FAO 56, encontram-se na Tabela 12. Para as condições meteorológicas da localidade de Petrópolis-RJ, o método de Hargreaves-Samani foi o que apresentou o melhor desempenho ($c = 0,789$), sendo caracterizado como muito bom. O método de Priestley-Taylor, com um índice c igual a 0,745, também obteve um desempenho satisfatório, sendo classificado como bom, resultado semelhante ao encontrado por Reis et al. (2007) para escala diária nas localidades de Venda Nova do Imigrante e Cachoeiro de Itapemirim, ES. Já os métodos de Thornthwaite e de Camargo apresentaram, ambos, um desempenho caracterizado como péssimo, com valores de c igual a 0,380 e 0,311, respectivamente.

O método de Thornthwaite, apesar de não ter apresentado resultados satisfatórios na estimativa da ET₀, em escala diária, possui um grande valor prático na estimativa da ET₀, em áreas onde somente estão disponíveis os dados de temperatura do ar.

Souza (2011), avaliando métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para fins de manejo de irrigação encontrou resultado semelhante para o método de Camargo, sendo observado um índice de desempenho de 0,20 em relação ao método de Penman-Monteith – FAO 56.

Em relação ao índice de concordância, os métodos de Priestley-Taylor e Hargreaves-Samani apresentaram os melhores desempenhos, com valores similares (0,904 e 0,900). Os métodos de Camargo, como observou Souza (2011) e Thornthwaite apresentaram desempenho similar e inferior aos demais métodos com valores de 0,579 e 0,587, respectivamente.

Em análise do coeficiente r nota-se uma correlação muito forte positiva, em relação ao método de Penman-Monteith – FAO 56, dos modelos de Priestley-Taylor e de Hargreaves-Samani, com valores de r igual a 0,824 e 0,877, respectivamente. Os modelos de Thornthwaite e de Camargo apresentaram correlação moderada positiva, com valores de r igual a 0,648 e 0,538, respectivamente.

Carvalho et al. (2015), encontraram um valor de r muito semelhante ($r = 0,8805$) em relação aos métodos Penman-Monteith FAO 56 e Hargreaves-Samani, para a mesma localidade de Petrópolis.

Tabela 12 - Parâmetros da regressão (β_0 , β_1), coeficiente de determinação (r^2), coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d) e índice de confiança ou desempenho (c) para valores da ET_0 na escala diária, para o período de 2011 a 2013 na localidade de Petrópolis-RJ

Métodos	β_0	β_1	r^2	r	d	c	Classificação
Priestley-Taylor	0,79	0,752	0,679	0,824	0,904	0,745	Bom
Hargreaves-Samani	0,71	0,650	0,769	0,877	0,900	0,789	Muito Bom
Thornthwaite	1,14	0,251	0,420	0,648	0,587	0,380	Péssimo
Camargo	1,12	0,266	0,289	0,538	0,579	0,311	Péssimo

Os resultados das comparações obtidos em relação aos períodos de verão e de inverno, estão representados nas Tabelas 13 e 14. Comparando os períodos de verão e de inverno, o maior valor de c encontrado foi o do método Priestley-Taylor, no período de verão, com um desempenho considerado ótimo ($c = 0,876$). Porém, no período de inverno, o mesmo método apresentou desempenho sofrível ($c = 0,51$). O método de Hargreaves-Samani obteve um desempenho muito bom no período de verão ($c = 0,821$) e bom no período de inverno ($c = 0,727$). Já os métodos de Thornthwaite e Camargo, novamente, apresentaram desempenho classificado como péssimo para ambos os períodos, estando todos seus valores de c abaixo de 0,40.

Pereira et al. (2009), avaliando o desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG, também encontraram, para o método de Priestley-Taylor, melhores resultados para o índice de confiança no período chuvoso, em relação ao período mais seco.

Tabela 13 - Índice de correlação de Pearson (r), índice de concordância (d) e índice de desempenho (c) para os valores da ET₀ diária no período de verão (Dez, Jan e Fev) do período de 2011 a 2013 na localidade de Petrópolis-RJ.

Métodos	r	d	c	Classificação
Priestley-Taylor	0,931	0,942	0,876	Ótimo
Hargreaves-Samani	0,911	0,901	0,821	Muito Bom
Thornthwaite	0,691	0,556	0,384	Péssimo
Camargo	0,630	0,512	0,323	Péssimo

Tabela 14 - Índice de correlação de Pearson (r), índice de concordância (d) e índice de desempenho (c) para os valores da ET₀ diária no período de inverno (Jun, Jul e Ago) do período de 2011 a 2013 na localidade de Petrópolis-RJ.

Métodos	r	d	c	Classificação
Priestley-Taylor	0,711	0,716	0,51	Sofrível
Hargreaves-Samani	0,913	0,797	0,727	Bom
Thornthwaite	0,591	0,549	0,325	Péssimo
Camargo	0,692	0,510	0,353	Péssimo

As Figuras 12 a 14, estão representando os diagramas de dispersão linear em função dos métodos empíricos estudados e o método de Penman-Monteith – FAO 56. O modelo que apresentou a menor dispersão ao redor da linha de tendência, como podemos observar, foi o modelo de Hargreaves-Samani, que apresentou um valor de “r²” igual a 0,7688. Em seguida, está o método de Priestley-Taylor, que apresentou uma maior dispersão ao redor da linha de tendência, quando com valores de ET₀ para Penman-Monteith – FAO 56 acima de 4,0 mm, e apresentou “r²” no valor de 0,6787. O método de Thornthwaite vem em seguida ($r^2 = 0,4197$) e com uma alta dispersão dos valores de ET₀ ao redor da linha de tendência, está o modelo de Camargo com o pior valor de “r²” (0,289).

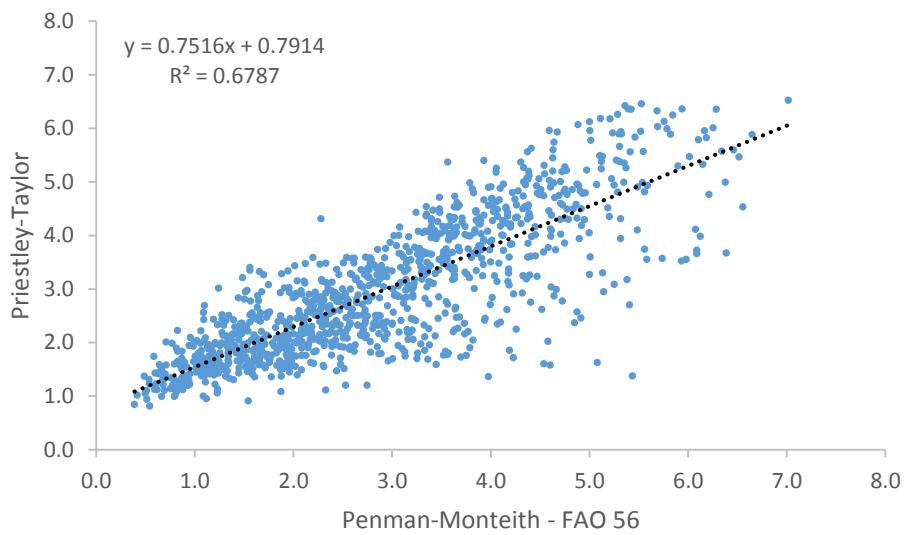


Figura 12 - Gráfico de dispersão linear para os métodos Penman-Monteith FAO 56 e Priestley-Taylor

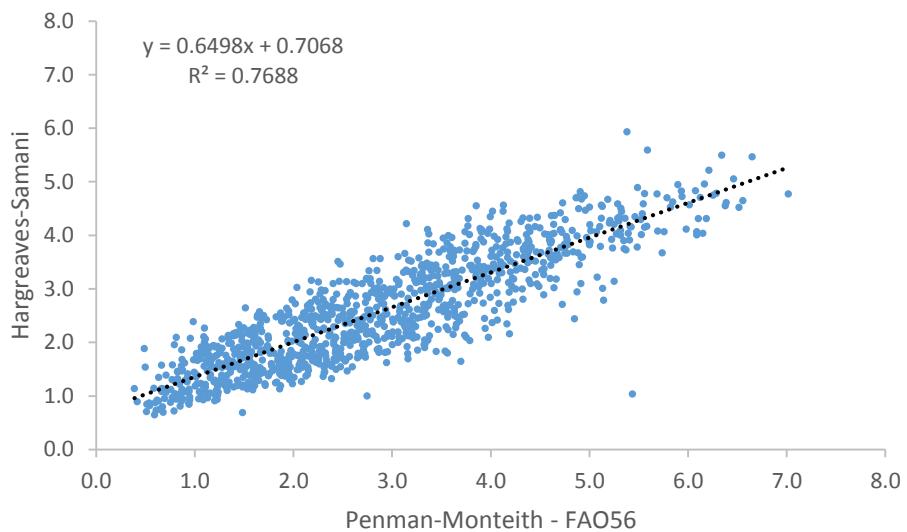


Figura 13 - Gráfico de dispersão linear para os métodos Penman-Monteith FAO 56 e Hargreaves-Samani

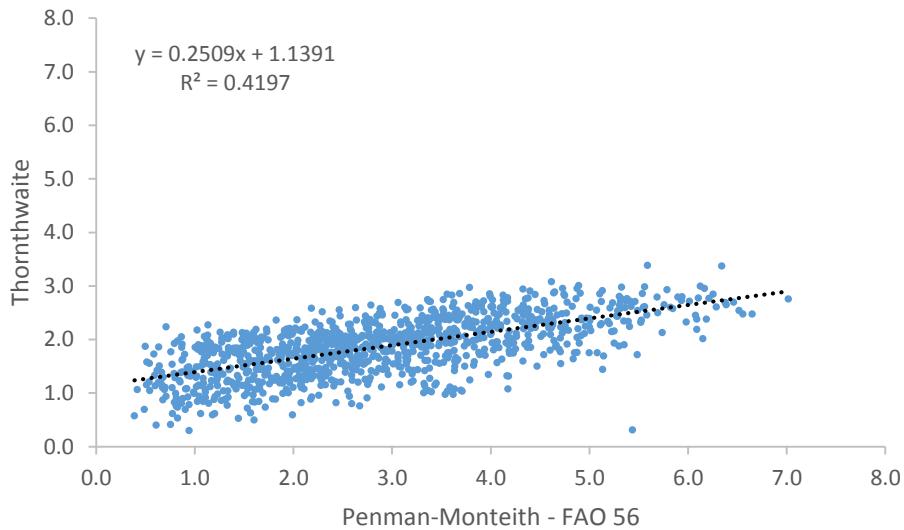


Figura 14 - Gráfico de dispersão linear para os métodos Penman-Monteith FAO 56 e Thornthwaite

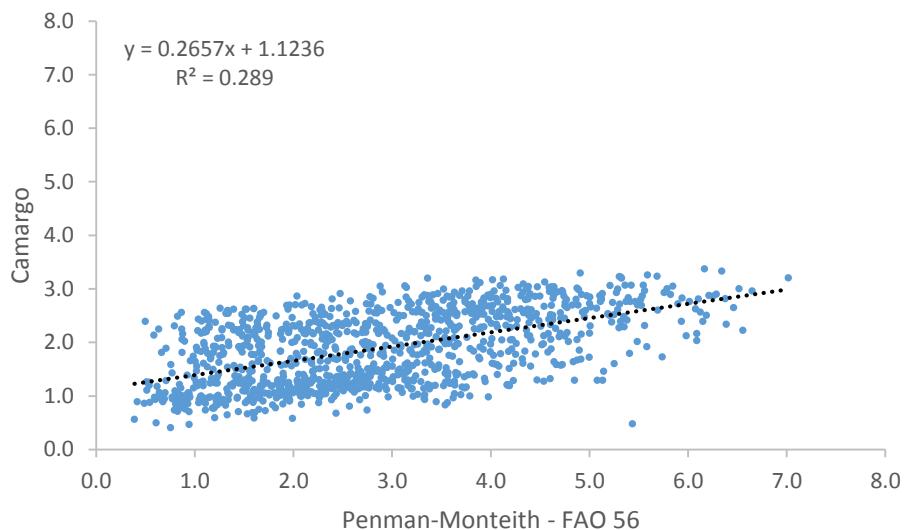


Figura 15 - Gráfico de dispersão linear para os métodos Penman-Monteith FAO 56 e Camargo

Na análise do comportamento da tendência e da magnitude da ET_o , durante o período de estudo (Figura 16), nota-se que todos os métodos avaliados seguem o método de Penman-Monteith no que se refere à tendência, ou seja, ao movimento da curva da ET_o , durante a maior parte do período em estudo. Em relação à magnitude, os métodos de Priestley-Taylor e Hargreaves-Samani acompanham, de uma forma geral, os valores estimados por Penman. Na média, o método de Priestley-Taylor superestimou os valores da ET_o em 2,4 mm por mês, e o método de Hargreaves-Samani subestimou os mesmos

valores em 9,0 mm por mês na média. Já os métodos de Thornthwaite e Camargo, na maior parte do período, subestimam os valores da ET_o em um valor médio mensal de 30,6 e 29,8 mm, respectivamente.

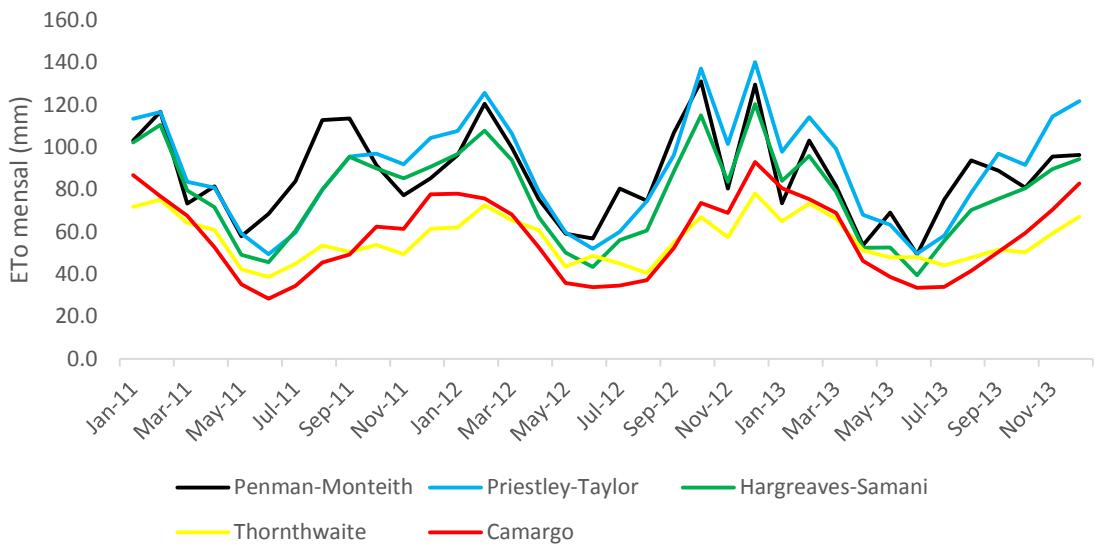


Figura 16 - Evolução da evapotranspiração de referência para cada mês do período estudado, de todos os métodos avaliados, na localidade de Petrópolis

Na Tabela 15, observa-se que os métodos de Priestley-Taylor e Hargreaves-Samani apresentaram os melhores desempenhos, com índices c de 0,73 e 0,80, respectivamente. Os métodos de Thornthwaite e Camargo apresentaram os piores valores, 0,34 e 0,35, respectivamente, sendo classificados, os dois, com um péssimo desempenho. Esse resultado está demonstrado, na Figura 16, anteriormente, onde notou-se uma clara tendência destes dois modelos em subestimar os valores da evapotranspiração de referência calculada pelo modelo padrão de Penman-Monteith.

Tabela 15 - Índice de correlação de Pearson (r), índice de concordância (d) e índice de confiança ou desempenho (c) para valores da ET_o na escala mensal, para a localidade de Petrópolis-RJ

Métodos	r	d	c	Classificação
Priestley-Taylor	0,82	0,89	0,73	Bom
Hargreaves-Samani	0,89	0,90	0,80	Muito Bom
Thornthwaite	0,65	0,52	0,34	Péssimo
Camargo	0,62	0,56	0,35	Péssimo

5. CONCLUSÕES

Analisando em conjunto os coeficientes de desempenho das tabelas apresentadas neste estudo, pode-se concluir que os métodos de Priestley-Taylor e Hargreaves-Samani obtiveram as melhores combinações de valores e, portanto, os melhores desempenhos.

Os métodos de Thornthwaite e Camargo não demonstraram viabilidade na utilização de suas respectivas equações na estimativa da evapotranspiração de referência diária, nas localidades deste estudo.

Para a localidade de Paraty-RJ, na escala mensal, todos os métodos estudados neste trabalho, demonstraram ser viáveis, na estimativa da evapotranspiração de referência.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, L. P.; DELGADO, R. C.; ALMEIDA, T. S.; WANDERLEY, H. S. Comparação de diferentes métodos de estimativa diária da evapotranspiração de referência para a região de Uberaba. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v. 6, n. 2, p. 337-343, 2011.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D. & SMITH, M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. *Rome, FAO*. 301 p.
- AMORIM, M. C. de; ROSSATO, L.; TOMASELLA, J. Determinação da evapotranspiração potencial do brasil aplicando o modelo de Thornthwaite a um sistema de informação geográfica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 4, n.3, p. 83-90, 1999.
- ARAUJO, W.F.; COSTA, S.A.A.; SANTOS, A.E. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referencia (ET_o) para Boa Vista, RR. *Caatinga*, Mossoró, v. 20, n. 4, p. 84-88, 2007.
- BACK, A.J. Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para a estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga, SC. *Irriga*, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 449-466, 2008.
- BERNARDO, S. *Manual de Irrigação*. 6^aed. Viçosa: UFV, 1995. 657p.
- BEZERRA, J. M. et al. Estimativa da evapotranspiração de referência diária para Mossoró (Rn, Brasil). *Revista Caatinga*, v. 27, n. 3, p. 211–220, 2014.
- CAMARGO, A. Paes. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. 3.ed. Campinas: *Instituto Agronômico*, 1971. 24p. (Boletim, 116)
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. *Bragantia*, Campinas, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.
- CAMARGO, A. P; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.5, n.1, p.8997, 1997.
- CAPORUSSO, N. B.; ROLIM, G. de S. Reference evapotranspiration models using different time scales in the Jaboticabal region of São Paulo, Brazil. *Acta Scientiarum. Agronomy* (Impresso), v. 37, p. 1-9, 2015.

CARVALHO, D. F. de; ROCHA, H. S. da; BONOMO, R.; SOUZA, A. P. de. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados limitados. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.50, n.1, p.1-11, jan. 2015.

CARVALHO, L. G. de; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. Evapotranspiração de referência: Uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, jul./set. 2011.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Guidelines for predicting cropwater requirements. *Rome*: Estudio FAO, 1975. 179p. (Irrigation and Drainage, Paper, 24)

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Evapotranspiração: uma revisão sobre os métodos empíricos / Diego Simões Fernandes ... [et al.]. - Santo Antônio de Goiás: *Embrapa Arroz e Feijão*, 2010. 44 p.

FANAYA JUNIOR, E. D.; LOPES, A. da S.; OLIVEIRA, G. Q. de; JUNG, L. H. Métodos empíricos para estimativa da evapotranspiração de referência para Aquidauana, MS. *Irriga*, Botucatu, v. 17, n. 4, p. 418 - 434, out./dez. 2012.

FERNANDES, C.L. *Avaliação de diversas equações empíricas de evapotranspiração. Estudo de caso: Campos dos Goytacazes e Ilha do Fundão - RJ*. 2006. 142p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

FILA, G.; BELLOCCHI, G.; ACUTIS, M.; DONATELLI, M. IRENE – *Integrated Resources for Evaluating Numerical Estimates. Beta Version 1.00*. Research Institute for Industrial Crops. Bologna, Italy. 2001.

FRIZZONE, J.A. Otimização do uso da água na agricultura irrigada: perspectivas e desafios. *Eng. Rural*, Piracicaba, v. 15, p. 37-56, 2004.

GONÇALVES, F. M.; FEITOSA, H. O.; CARVALHO, C. M.; GOMES FILHO, R. R.; VALMIR JÚNIOR, M. Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral-CE. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.3, p.71-77, 2009.

HARGREAVES, G.H. Potential Evapotranspiration and irrigation requirements for northeast Brazil. *Logan: Utah State University*, p. 123, 1974.

HARGREAVES, G.H. Climate and irrigation requirements for Brazil. *Logan: Utah State University*, 1976. p.44.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. *Applied Engineering in Agriculture*. v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, 2006.

LIANG, L.; LI, L.; LIU, Q. Temporal variation of reference evapotranspiration during 1961–2005 in the Taoer River basin of Northeast China. *Agricultural and Forest Meteorology*. v.150. n.2. p. 298-306. 2009.

MAEDA, E. E.; WIBERG, D. A.; PELLIKKA, P. K. E. Estimating reference evapotranspiration using remote sensing and empirical models in a region with limited ground data availability in Kenya. *Applied Geography*, v. 31, n. 1, p. 251–258, 2011.

McANENEY, K.J.; ITIER, B. Operational limits to the Priestley-Taylor formula. *Irrigation Science*, Berlin, v.17, n.1, p.37-43, 1996.

MENDONÇA, J.C. et al. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) na região Norte Fluminense, RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.2, p. 275-279, 2003.

ORTEGA-FARIAS, S.; IRMAK, S.; CUENGA, R.H. Special issue on evapotranspiration measurement and modeling. *Irrigation Science*, v. 28, n. 1, p. 1-3, 2009.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. *Evapo(transpiração)*. 1.ed. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PEREIRA, D.R.; YANAGI, S.N.M.; MELLO; C.R.; SILVA, A.M.; SILVA, L.A. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, n.9, p. 2488-2493, 2009.

PRIESTLEY, C.H.B.; R.J. TAYLOR. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100(2): 81-92, 1972.

RAZIEI, T; PEREIRA, L.S. Estimation of ET_0 with Hargreaves-Samani and FAO-PM temperature methods for a wide range of climates in Iran. *Agricultural Water Management*, v.121, p.1-18, 2013.

REIS, E. F. dos; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. de O.; PEZZOPANE, J. E. M.; TAGLIAFERRE, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado do Espírito Santo no período seco. *Idesia*, Arica, v. 25, n. 3, dic. 2007.

SILVA, D. & BARROS FILHO, J. 2003. *Estatística*. São Paulo, USP. (Apostila).

SILVA, M. G. da; OLIVEIRA, J. B. de; LÊDO, E. R. F.; ARAÚJO, E.M; ARAÚJO, E.M. Estimativa da ET_o pelos métodos Penman-Monteith FAO 56 e Hargreaves-Samani a partir de dados de tx e tn para Sobral e Tauá no Ceará. *Revista ACTA Tecnológica. Revista Científica*. Vol. 5, número 2, jul-dez. 2010.

SILVEIRA, C. da S.; SOUZA, J. L.; MAIA JUNIOR, J. V. F.; ARAÚJO, B. A. M. de; ALMEIDA, F. A. F.; STUDART, T. M. de C.; LUNA, R. M. Análise espacial da evapotranspiração no estado do Ceará: análise comparativa entre métodos. *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. 2011. 19p.

SHUTTLEWORTH, W.J.; CALDER, I.R. Has the Priestley-Taylor equation any relevance to forest evaporation? *Journal of Applied Meteorology*, v.18, p.639-646, May, 1979.

SMITH, M.; ALLEN, R.; MONTEITH, J.L.; PERRIER, A.; PEREIRA, L.S.; SEGEREN, A. Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. *Rome*: FAO, 1990. 59 p.

SOUZA, A. S. P. *Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para fins de manejo de irrigação*. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

STAGNITTI, F.; PARLANGE, J.-Y.; ROSE, C.W. Hydrology of a small wet catchment. *Hydrol. Sci.*, 3: 137-150. 1989.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, v38, p55-94, 1948.

VISWANADHAM, Y.; SILVA FILHO, V.P.; ANDRÉ, R.G.B. The Priestley-Taylor parameter a for the Amazon forest. *Forest Ecology Management Journal*, v.38, p.211-225, 1991.