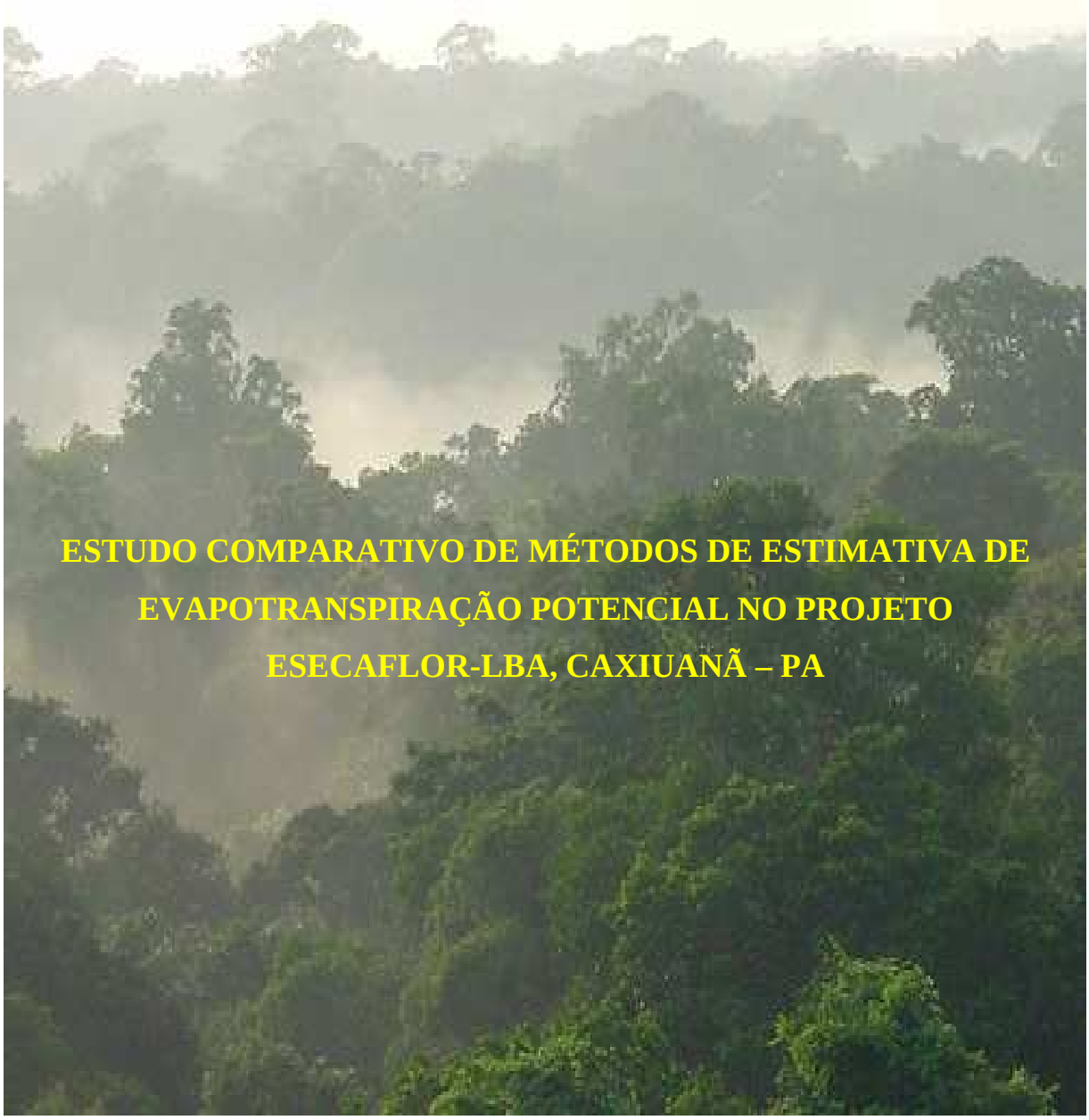
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE METEOROLOGIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ALEXANDRA LIMA TAVARES



ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL NO PROJETO ESECAFLOR-LBA, CAXIUANÃ – PA

BELÉM-PA

DEZEMBRO-2008

ALEXANDRA LIMA TAVARES

ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL NO PROJETO ESECAFLOR-LBA, CAXIUANÃ – PA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA), como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Lôla da Costa

BELÉM - PA

DEZEMBRO-2008

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)

Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

Tavares, Alexandra Lima

T231e Estudo comparativo de métodos de estimativa de evapotranspiração potencial no Projeto Esecaflor-LBA, Caxiuanã – PA . / Alexandra Lima Tavares. – 2008

40 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Segundo Semestre de 2008.

Orientador, Antonio Carlos Lola da Costa.

1. Evapotranspiração. 2. Projeto Esecaflor-LBA. 3. Caxiuanã – PA. I. Universidade Federal do Pará. II. Costa, Antonio Carlos Lola da, Orient. III. Título.

CDD 20º ed.: 551.572098115

ALEXANDRA LIMA TAVARES

ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL NO PROJETO ESECAFLOR-LBA, CAXIUANÃ – PA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA), como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Meteorologia.

Data de aprovação: 05/12/208

Banca examinadora:

_____

Prof. Antonio Carlos Lola da Costa – Orientador
Doutor em Engenharia Ambiental
Universidade Federal do Pará

_____

Prof[a]. Maria do Carmo Felipe de Oliveira - Membro
Mestre em Meteorologia Agrícola
Universidade Federal do Pará

_____

Prof. Dimitrie Nechet - Membro
Mestre em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

_____

Prof. Paulo Fernado Sousa Sousa
Diretor da Faculdade de Meteorologia
Mestre em Meteorologia

Dedico a minha mãe D. Romana e ao meu pai Sr. Alexandre (in memorian), e aos meus queridos filhos Arícia, Heron e Héricles.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre estar presente, principalmente nas horas mais difíceis, sempre O senti por perto, dando-me discernimento, força e proteção.

Meus agradecimentos ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Carlos Lola da Costa, pela orientação, atenção e paciência, pois sem seu apoio não teria conseguido realizar este trabalho.

Agradeço a Profa. Maria do Carmo Felipe de Oliveira pela atenção, preocupação e força.

Ao Prof. Dimitrie Nechet e a Profa. Midori Makino, pelo companheirismo, carinho e atenção.

Ao professor Everaldo Barreiros e toda a equipe do RPCH pela contribuição, atenção e paciência.

Agradeço a minha família: meu pai Alexandre dos Santos Tavares (in memorian) e minha mãe Romana Lima Tavares, pela dedicação de uma vida toda, por sempre estarem dispostos a me proporcionar e ensinar tudo de valioso nesta vida.

Ao meu irmão Reginaldo de Lima Tavares (in memorian), por me chamar carinhosamente de “mana” e fazer-me sentir sempre protegida.

Aos meus filhos Arícia, Heron e Héricles, por serem a razão do meu viver.

Ao meu marido Calisto Miranda, por, de qualquer forma, ser a razão de minha luta e conquista.

Aos meus tios José Damasceno e Maria Lucelina, pelas carinhosas palavras de apoio e conselhos.

Aos meus amigos e “segundos irmãos”, os colegas formandos da turma de 2005: Daniela, Gleyciano, Ionara, Junior, Luciana, Patrícia, Romulo, Rafael, Thiago e Vania; os de outra turma: Alex, Ana Carla, Heloísa, Luís Claudio e Márcia; aos colegas que tomaram outros rumos, minha “prima” Nelma, deixando saudades, e a todos que participaram de minha vida acadêmica me ajudando e dando força, nos momentos difíceis e de descontração, que serão sempre lembrados.

A Universidade Federal do Pará e ao Instituto Geociências pela oportunidade de realizar o curso de graduação em Meteorologia.

A todos que contribuíram de forma positiva nesta minha caminhada e conquista, fica o meu MUITO OBRIGADO!

Sonhos são gratuitos.

Transformá-los em realidade tem um preço.

Ennis J. Gibbs

RESUMO

O presente trabalho foi realizado na Floresta Nacional de Caxiuanã, localizada no município de Melgaço - PA, distante cerca de 400 km de Belém (01°42’30” S; 51°31’45”W; 16 m de altitude). Os dados utilizados referem-se ao período de janeiro de 2003 a agosto de 2008, do projeto “O Impacto da Seca Prolongada nos Fluxos de Água e Dióxido de Carbono em uma Floresta Tropical Amazônica” (ESECAFLOR - LBA). O objetivo foi estudar a evapotranspiração potencial na Floresta Nacional de Caxiuanã, através de vários métodos de estimativas, de modo a dar subsídios a outros estudos de interações entre floresta e a atmosfera. Os resultados indicaram que os métodos Penman-Monteith, Priestley-Taylor e Thornthwaite, foram os mais consistentes, com valores mínimos durante a época chuvosa e máximos durante a época menos chuvosa da região, sugerindo-se a sua aplicação para a estimativa de evapotranspiração potencial.

Palavras Chave: Evapotranspiração. Projeto ESECAFLOR-LBA. Caxiuanã – PA.

ABSTRACT

The present work was made in the National Forest of Caxiuanã, located in the city of Melgaço - Pará, about 400 km distant of Belém (01°42'30” S; 51°31'45” W; 16m of altitude). The used data mention the period from January of 2003 till August of 2008, of the project “Impact of Prolonged Drought in the Water and Carbon Dioxide Flows in an Amazonian Tropical Forest” (ESECAFLOR - LBA). The objective was to study the potential evapotranspiration in the National Forest of Caxiuanã, through some methods of estimates, in order to give subsidies to other studies of interactions between forest and the atmosphere. The results had indicated that the Penman-Monteith, Priestley-Taylor and Thornthwaite methods, had been most consistent, with minimum values during the rainy period and maximum values during the less rainy period of the region, suggesting it for application for the estimate of potential evapotranspiration.

Key words: Evapotranspiration. ESECAFLOR – LBA Project. Caxiuanã - PA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1a **Localização da área de estudo** 26

Figura 1b **Vista panorâmica da Estação Científica Ferreira Pena** 26

Figura 02 **Composição da distribuição da Temperatura do ar e Umidade Relativa do ar** 31

Figura 03 **Distribuição mensal das Temperaturas Média, Máxima, Mínima e do Ponto de Orvalho** 32

Figura 04 **Composição da distribuição mensal de Insolação e Radiação Global** 33

Figura 05 **Distribuição mensal da Velocidade do Vento** 34

Figura 06 **Distribuição mensal da Evapotranspiração Potencial nos sete métodos e média total** 36

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a : Função cúbica de I

ABR: abril

AGO: agosto

Alt: Altitude

BA: Bahia

CENIBRA S/A: Celulose Nipo Brasileira S/A

CNPMF: Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical

CV: Coeficiente de variação

DesvPad: Desvio Padrão

DEZ: dezembro

ECA: Evaporação da água no tanque classe A

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ESECAFLOR: O Impacto da Seca Prolongada nos Fluxos de Água e Dióxido de Carbono em uma Floresta Tropical Amazônica

ET: Evapotranspiração

ETo: Evapotranspiração de referência

ETP: Evapotranspiração Potencial

ECPn: Estação Científica Ferreira Pena

e: Pressão de vapor

e_s: Pressão de saturação de vapor

ET_C: Evapotranspiração da cultura

FAO: Food and Agriculture Organization

FEV: fevereiro

FLONA: Floresta Nacional

G: Densidade do fluxo de calor no solo, percolação profunda

H: fluxo de calor sensível

Hg: Hargreaves

I: Índice anual de calor

i: Índices dependentes da temperatura

JAN: janeiro

JUL: julho

JUN: junho

K_C: Coeficiente de cultivo

Km: Quilômetro

kPa: Quilo Pascal

kPa^oC^{-1}: Quilo Pascal por graus Celsius

LBA: Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia

MAI: maio

MAR: março

m: metro

mb: Milibar

MJ/m^2: Mega Joule por metro quadrado

$MJKg^{-1}$: Mega Joule por quilograma

$MJm^{-2}dia^{-1}$: Mega Joule por metro quadrado por dia

mmd^{-1}: Milímetro por dia

m/s: metro por segundo

NE: Nordeste

NOV: novembro

OUT: outubro

P: Precipitação

PM: Penman-Monteith

Pn: Penman-FAO

Ra: Radiação-FAO, radiação extraterrestre

R: Escoamento superficial

Rg: Radiação Global

RJ: Rio de Janeiro

Rn: Saldo de Radiação

S: Armazenamento de água no solo

SEBAL: Surface Energy Balance Algorithm for Land

SEEI: Serviço Especializado em Engenharia de Irrigação

SET: setembro

SEVAP: Sistema de Estimativa de Evapotranspiração

TCA: Tanque classe A

$T_{d:}$ Temperatura do Ponto de Orvalho

T_{max}: Temperatura máxima

T_{med}: Temperatura média

T_{min}: Temperatura mínima

TM: Thematic Mapper

T: Temperatura

UR: Umidade Relativa do ar

U2: Velocidade do vento

W: Fator de ponderação que varia em função da temperatura do ar e do parâmetro psicrométrico

Δ: Declinação da curva de saturação do vapor d'água

Ø: Latitude em graus

α: Parâmetro de Priestley-Taylor

λET: Fluxo de calor latente

ºC: Graus Celsius

γ: Fator psicrométrico

SUMÁRIO

1 **INTRODUÇÃO**..... 17

2 **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**..... 19

2.1 DEFINIÇÕES 22

2.1. **Evaporação**..... 22

2.1. **Transpiração**..... 22

2.1. **Evapotranspiração**..... 22

2.1. **Poder Evaporativo**..... 22

2.1. **Evapotranspiração Potencial**..... 23

2.1. **Evapotranspiração Real**..... 23

2.1. **Calor Sensível**..... 23

2.1. **Calor Latente de Evaporação**..... 23

2.2 FATORES DETERMINANTES DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL..... 24

3 **MATERIAIS E MÉTODOS**..... 25

3.1 ÁREA DE ESTUDO..... 25

3.2 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO..... 26

3.2. **Método de Penman-Monteith**..... 27

3.5. **Método de Hargreaves-Samani**..... 28

3.2. **Método de Jensen-Haise**..... 28

3.2. **Método de Linacre**..... 28

3.2. **Método de Makkink**..... 29

3.2. **Método de Priestley-Taylor**..... 29

3.2. **Método de Thornthwaite**..... 30

4 **RESULTADOS E DISCUSSÕES**..... 31

4.1 TEMPERATURA DO AR E UMIDADE RELATIVA DO AR..... 31

4.2 TEMPERATURAS MÉDIA, MÁXIMA, MÍNIMA E DO PONTO DE ORVALHO..... 31

4.3 RADIAÇÃO GLOBAL E INSOLAÇÃO..... 32

4.4 VELOCIDADE DO VENTO..... 33

4.5 EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL..... 34

5 **CONCLUSÃO.....** 37

REFERÊNCIAS..... 38

1 INTRODUÇÃO

A grande extensão da Amazônia favorece a existência de inúmeros ecossistemas vegetais. Na floresta Nacional de Caxiuanã existe uma floresta bastante densa, onde abriga grande variedade de espécies vegetais, riquíssima fauna, rios e igarapés, entre tantos outros.

Apesar de vários trabalhos experimentais já realizados na Amazônia, poucas informações encontram-se disponíveis sobre a quantificação da evapotranspiração, que é de grande interesse no ciclo hidrológico, para melhor caracterizarmos a interação entre floresta e atmosfera.

A transferência de água no estado de vapor na atmosfera, pela evaporação de superfícies líquidas e úmidas ou pela transpiração dos vegetais, é de extrema importância para o ciclo hidrológico da natureza.

“Evapotranspiração” foi o termo utilizado por Thornthwaite no início da década de 40 do século passado, para expressar esta ocorrência simultânea dos processos de evaporação da água no solo e da transpiração das plantas. Ela é controlada pelo balanço de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas (PEREIRA et al., 1997).

Em face da importância da Bacia Amazônica como grande detentor de recurso de água no contexto regional e global, uma vez que aproximadamente 75% de energia disponível na Amazônia Central são utilizados para a evapotranspiração (VILLA NOVA, 1976; SALATI, 1985), e também 50% da precipitação anual retorna à atmosfera em forma desse elemento meteorológico (RIBEIRO, 1993), verifica-se a importância de se realizar pesquisas a respeito do consumo de água em áreas vegetadas nesta região, pois poucos são os programas de pós-graduação consolidados destinados a formar profissionais para atuar na área de recursos hídricos sediados na região.

Além disso, com o avanço da fronteira agrícola na região Amazônica torna-se importante obter conhecimento do consumo de água pelas plantas (evapotranspiração) para se realizar um melhor manejo da quantidade de água utilizada nas diversas etapas do desenvolvimento de plantas cultivadas. Portanto, para propósitos hidrológicos e agrometeorológicos, é indispensável informações sobre evapotranspiração.

Enfim, no planejamento e desenvolvimento de sistemas que envolvam o manejo da água, o parâmetro "evapotranspiração" destaca-se como um dos componentes de maior importância. Este fato gerou, ao longo do tempo, uma contínua necessidade para obtenção de dados desse elemento meteorológico, resultando no surgimento de inúmeros métodos de estimativa (JENSEN, 1974). O objetivo deste trabalho foi estudar a evapotranspiração potencial na Floresta Nacional de Caxiuanã, através de vários métodos de estimativas, de modo a dar subsídios a outros estudos de interações entre floresta e a atmosfera.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O conhecimento do consumo de água de povoamentos florestais é importante por várias razões, mas a quantificação desta fase do ciclo hidrológico em condições naturais é muito difícil. De fato, até há pouco tempo não se conhecia método preciso para se avaliar o consumo de água de superfícies vegetadas. A partir da década de 60, todavia, muita informação nova tem contribuído significativamente para o aperfeiçoamento dos métodos.

Em seu trabalho, Mendonça (2003) utilizou como métodos, em nível de comparação de estimativa de Evapotranspiração, os métodos de Lisímetro, Penman-Monteith FAO, Makkink, Linacre, Jensen-Haise, Hangreaves-Samani, Radiação solar, Tanque classe A e Atnômetro SEEI modificado, no qual apresentaram resultados satisfatórios às ETo (Evapotranspiração de referência) na região Norte Fluminense, RJ, com exceção do método Atnômetro SEEI modificado.

Estudos feitos por Oliveira (2001) e Faria (2000), no qual utilizaram o método de Penman-Monteith (PM) como padrão, em comparação com os métodos de Penman-FAO (Pn), Radiação-FAO (Ra) e Hargreaves (Hg), concluíram que os melhores métodos foram os estimados pelo Pn e Hg seguido de Ra. Segundo Faria (2000), os três métodos abordados (Pn, Ra, Hg) apresentaram boa correlação com o padrão (PM).

Lima (1976) argumentou que no caso de áreas florestadas o balanço hídrico do solo é uma boa tentativa de medição de evapotranspiração, que consiste da equação ET = P – R +- G +- S. Onde ET é evapotranspiração; P é precipitação; R é escoamento superficial; G é percolação profunda e S é armazenamento de água no solo.

Miranda (2004) utilizou-se de um lisímetro de pesagem para medir a ET_c (ET da cultura) e para evapotranspiração de referência (ET_o) o método de PM, no qual obteve neste estudo o coeficiente de cultivo (K_c) para a cultura de melancia e recomenda os valores de K_c adquiridos para os valores de ET_o medidos através do método PM.

Moura (2001), analisou a distribuição probabilística da ETo através dos métodos do Tanque Classe A (TCA) e PM ajustado ao modelo de Gumbel e aplicado o teste de Kolmogov-Smirnov. Seus resultados consistiram em que a probabilidade de estimativa de ETo decresce a medida que seus valores diminuem e a distribuição de freqüência pelo método

de Gumbel obteve um bom ajuste aos dados de ETo obtidos pelos dois métodos de estimativa (TCA e PM).

Menezes (2007) afirma que os métodos de lisímetro ou estimativas por balanço hídrico do solo ou FAO-Penman-Monteith são limitados, pois estimam valores pontuais de ET para um local específico e não para uma escala regional. Aborda a importância da técnica de sensoriamento remoto nesta área. Menezes utilizou em seu estudo uma cena do sensor (Thematic Mapper, TM) do satélite Landsat 5, utilizados para se fazer o cálculo do balanço de radiação (R_n), do fluxo de calor no solo(G), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (λET), e também dado da estação climatológica Gaspar da empresa CENIBRA S/A, e aplicação do algoritmo SEBAL para condições de relevo montanhoso. Seus resultados consistem que os componentes de R_n, G, H e λET mostraram-se condizentes com a literatura considerando relevo plano e montanhoso, porém este último superestimou a ET em comparação com relevo plano.

A metodologia utilizada por Marques (1995) em seu estudo “Modelo Interativo para Estimativa da Evapotranspiração de Referência Provável” foi a estimada pela distribuição beta (YAO, 1969; FALLS, 1973; BISHNOI, 1980), no qual consiste em uma série de equações matemáticas (incluindo integrações, cálculos diferenciais, etc.), onde procurou-se desenvolver um modelo interativo, elaborado e aferido com base nos registros médios de evapotranspiração de referência, estimados para uma série de 30 anos na região de Piracicaba, São Paulo. O autor aferiu o modelo interativo proposto, comparando-se os dados estimados, com os obtidos por Saad (1990) para o período em questão, comparação esta efetivada através do teste de Kolmogorov-Smirnov (CAMPOS, 1983). Seus resultados foram satisfatórios uma vez que o modelo em questão apresentou um alto grau de ajuste em comparação com dados catalogados em literatura.

Silva (1998) utilizou dados obtidos de uma série de 18 anos (1979 a 1996) dos registros da estação meteorológica do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical (CNPMF/EMBRAPA) em Cruz das Almas, BA, no qual a evapotranspiração de referência (ETo) foi estimada a partir de dados da evaporação da água no tanque classe A (ECA), e como metodologia os seus valores foram convertidos em lâminas evapotranspiradas, por meio de uma equação dada, e as distribuições teóricas de probabilidade aplicadas aos dados foram a Normal, Lognormal e Beta, conforme metodologia apresentada por Haan (1994). Os resultados indicaram que as distribuições de

evapotranspiração de referência (ETo) acumulada ajustaram-se aos modelos de distribuições Normal, Lognormal e Beta, e a evapotranspiração diária apresenta tendência de redução com o aumento do período acumulado.

2.1 DEFINIÇÕES

Os fenômenos físicos da evaporação de superfícies úmidas e da transpiração vegetal constituem os processos naturais de perda de água para a atmosfera, importante elo no ciclo hidrológico da natureza; onde se faz necessário, portanto, o conhecimento das definições de termos associados a este processo.

2.1.1 **Evaporação**

É o fenômeno associação a perda de água para a atmosfera no estado de vapor, a partir de uma superfície úmida ou molhada (OLIVEIRA, 2001).

2.1.2 **Transpiração**

Perda de água para a atmosfera em forma de vapor através dos estômatos e cutículas das plantas (GANGOPADHYAYA et al, 1968).

2.1.3 **Evapotranspiração**

É a perda combinada de água para a atmosfera, em forma de vapor, através dos processos de evaporação das superfícies e transpiração das plantas (HUSCHKE, 1970).

2.1.4 **Poder Evaporativo**

É a perda de água para a atmosfera de uma superfície saturada exposta às condições reinantes dos fatores meteorológicos (OLIVEIRA, 2001)

2.1.5 **Evapotranspiração Potencial**

Total de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, por unidade de tempo, de uma superfície extensa completamente coberta de vegetação de porte baixo e bem suprida de água (PENMAN, 1956).

2.1.6 **Evapotranspiração Real**

Perda de água para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições reais de fatores atmosféricos e umidade do solo (GANGOPADHYAYA et al, 1968).

2.1.7 **Calor Sensível**

É a energia que é transmitida para as camadas atmosféricas pelo processo de convecção, ou seja, é o fluxo de energia que ocorre entre a superfície e a atmosfera, que desta forma transmite e determina a temperatura do ar.

2.1.8 Calor Latente de Evaporação

É a quantidade de energia necessária para evaporar 1 g de água estando esta a uma determinada temperatura T.

2.2 FATORES DETERMINANTES DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL

O processo de evapotranspiração é, fundamentalmente, um processo dependente da energia disponível, sendo a radiação solar o fator isolado mais importante. Já se tem conhecimento que alguns dados de balanço de energia na superfície, em condições de suprimento de água, em que uma boa parte do saldo de radiação (Rn) é utilizado no processo de evapotranspiração. As temperaturas do ar e da água estão grandemente associadas à radiação solar, e, portanto, também se correlacionam positivamente com a evapotranspiração, pois quanto maior a temperatura maior se torna o poder evaporativo do ar.

Outro fator determinante é o vento, que exerce a remoção e renovação do ar logo acima da superfície evaporante, retirando da camada acima da superfície o ar saturado ou próximo a saturação, ficando sobre a mesma superfície ar mais seco, o que determina o aumento do processo de evapotranspiração.

Em condições de ótima disponibilidade de água no solo, a evapotranspiração potencial (ETP) seria apenas uma função das condições meteorológicas, tais como a evaporação de superfície livre de água e do tipo de vegetação. Sendo, entretanto, se o “controle” exercido pela vegetação, especialmente pelas culturas agrícolas, nas condições estabelecidas pela ETP, não é tão significativo, então a evapotranspiração potencial passa a ser função quase que exclusiva das condições meteorológicas. Destas condições, a radiação solar é, sem dúvida, a mais importante. Seguem-lhe a temperatura, o vento e a umidade do ar (BERLATO; MOLION, 1981).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Na região tropical, a superfície terrestre e a atmosfera formam um sistema de grande interação. Nessas regiões verifica-se a grande quantidade dos fluxos de superfície oriundos da importante disponibilidade de água e energia na atmosfera. Este trabalho foi realizado com dados da Estação Científica Ferreira Pena (ECFPn) situada na Floresta Nacional de Caxiuanã – FLONA Caxiuanã (Figura 1a) que localiza-se no município de Melgaço-PA (Lat. 01°42’30” S; Long. 051°31’45”W; Alt. 16 m), distante cerca de 400 km a Oeste de Belém. A FLONA Caxiuanã apresenta baixa densidade demográfica, com excelente estado de conservação de sua floresta e rios, abrangendo 33.000 ha, da qual 80% correspondem à floresta de terra firme e 20% à floresta de várzea e igapó, além de uma abundante vegetação aquática. A altura média das árvores é de 40 m e o solo predominante foi classificado como Latossolo Amarelo (COSTA et al., 2003b). O clima da região é do tipo tropical quente úmido, com temperaturas médias anual de 26ºC, com período mais chuvoso entre os meses de janeiro e maio, e período menos chuvoso entre os meses de setembro e dezembro, umidade reativa média anual em torno de 80% e a direção do vento predominante é de nordeste (NE) (MORAES et al., 1997).

Estes dados fazem parte do experimento ‘O Impacto da Seca Prolongada nos Fluxos de Água e Dióxido de Carbono em uma Floresta Tropical Amazônica’(ESECAFLOR - LBA), sendo este uma proposta de avaliação das conseqüências provocadas no ecossistema por um longo período de exclusão de parte significante da água da chuva, que seria como a simulação de um evento de El Niño, que provoca seca anômala em determinadas áreas na Amazônia. A ocorrência de estresse hídrico, em florestas tropicais, causa alterações ainda pouco conhecidas em todo o ecossistema (COSTA et al., 2003b). O projeto ESECAFLOR objetiva, portanto avaliar o impacto da seca sobre o ecossistema amazônico, e também a deficiência de água no solo sobre o ciclo da floresta e suas alterações.

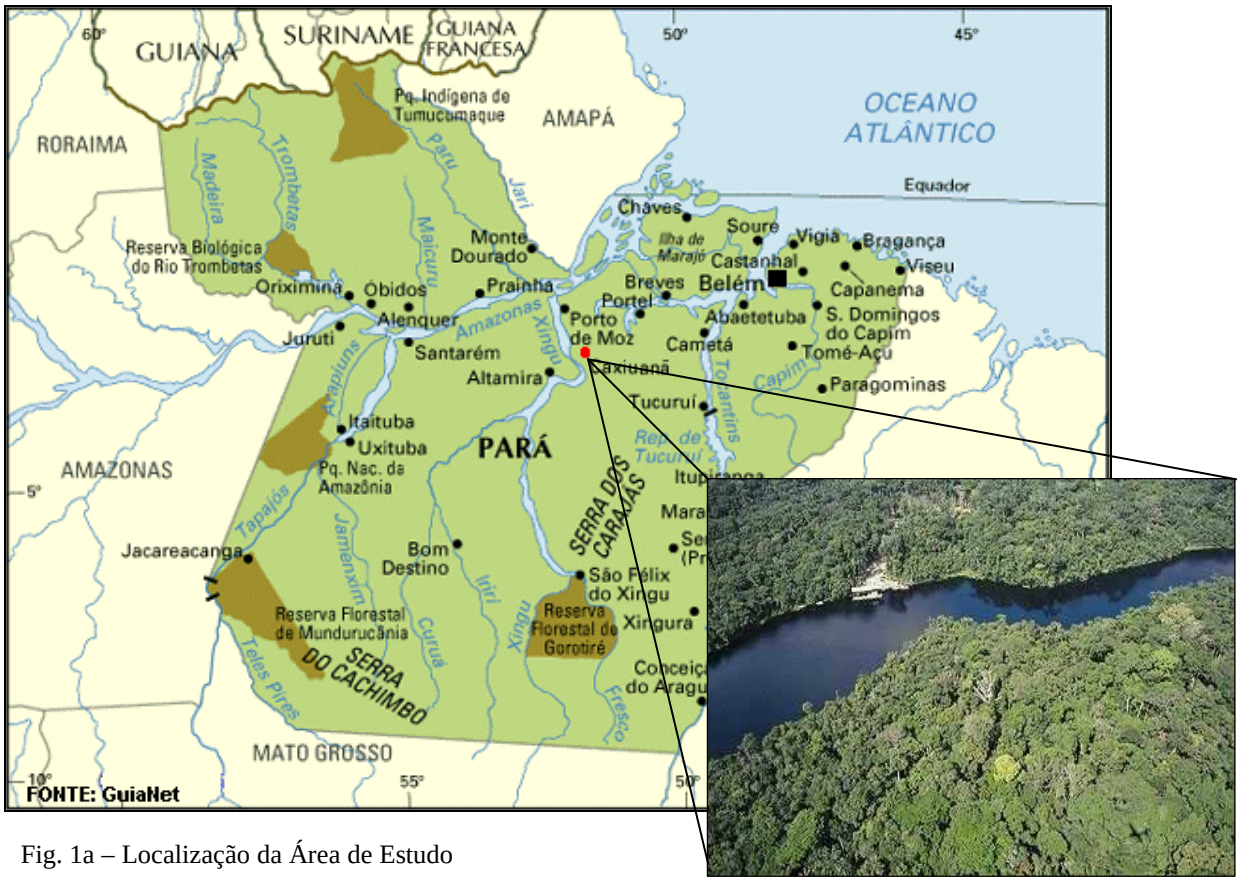


Fig. 1a – Localização da Área de Estudo

Fonte: Projeto ESECAFLOR

FIGURA 1b – Visão panorâmica da Estação Científica Ferreira Pena (ECFPn)

Fonte: Museu Paraense Emílio Goeldi (2008)

3.2 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Para realizar o presente trabalho foram utilizados dados meteorológicos de temperatura máxima e mínima do ar (°C), umidade relativa do ar (%), insolação (horas), radiação solar global (MJ/m^2.dia) e velocidade do vento (m/s), para o período de janeiro de 2003 a agosto de 2008. Foram calculadas as variáveis de pressão de saturação de vapor (mb), pressão de vapor (mb) e temperatura do ponto de orvalho (°C), necessárias para o cálculo de evapotranspiração em determinados métodos, através das seguintes equações:

$$es = 6{,}11 \times 10^{\left[\frac{7{,}5T}{(T+237{,}3)}\right]}$$ Equação Tetens

$$e = \frac{UR \times es}{100} \qquad Td = \frac{237{,}3.\log\left[\frac{e}{6{,}11}\right]}{7{,}5 - \log\left[\frac{e}{6{,}11}\right]}$$

Onde es é a pressão de saturação de vapor (mb), e é a pressão de vapor (mb), T é a temperatura do ar (°C), UR é a umidade relativa do ar (%), e T_d a temperatura do ponto de orvalho (°C).

Para se obter os valores de evapotranspiração, foram utilizados sete métodos empíricos, através de um programa computacional, o SEVAP (Sistema de Estimativa de Evapotranspiração), desenvolvido em linguagem computacional *Delphi* e em ambiente Windows (SILVA et al, 2005). Com os dados disponíveis e com grau de precisão desejados, calculou-se a evapotranspiração via SEVAP, com base nos seguintes métodos de estimativa: Penman-Monteith (FAO/56), Hargreaves, Jensen-Haise, Linacre, Makkink, Priestley & Taylor e Thornthwaite. Posteriormente foram feitas as análises comparativas mensais entre os mesmos.

3.2.1 **Método de Penman-Monteith**

Na estimativa da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith, considera-se a resistência estomática de 70 s m^{-1}, a altura da grama fixada em 0,12 m e albedo de 0,23 pela equação (ALLEN et al., 1994):

$$ETo = \frac{0{,}4808\Delta(Rn - G) + \gamma\left(\frac{900U2}{T + 273}\right)(es - e)}{\Delta + \gamma(1 + 0{,}34U2)}$$

Onde R_n é o saldo de radiação, G a densidade do fluxo de calor no solo (MJ $m^{-2}dia^{-1}$), Δ é a declinação da curva de saturação do vapor d'água (kPa $°C^{-1}$), U_2 é a velocidade do vento (média diária) a 2m acima da superfície do solo, T a temperatura do ar (°C), es é a pressão de saturação de vapor do ar (kPa), e é a pressão de vapor (kPa) e γ é o fator psicrométrico ($MJkg^{-1}$).

3.2.2 **Método de Hargreaves-Samani**

Resulta de uma relação empírica entre a evaporação calculada e conseguida por várias amostras de culturas, através da equação:

$$ET_o = 0{,}0023\ Ra\ (T_{max} - T_{min})^{0,5}\ (T_{med} + 17{,}8)$$

Em que ET_o é a Evapotranspiração (mm/d^{-1}); Ra é a radiação extraterrestre em mm/d^{-1}; T_{max} é a temperatura máxima; T_{min} é a temperatura mínima; e T_{med} é temperatura média diária.

3.2.3 **Método de Jensen-Haise**

Jensen e Haise (1973) apresentaram um método baseado na temperatura e radiação solar. A relação proposta é:

$$ETP = R_g\ (0{,}0252\ T + 0{,}78)$$

Onde ETP é Evapotranspiração Potencial em mm d^{-1}; R_g é radiação global em mm d^{-1}; e T é a temperatura média do ar em °C.

3.2.4 **Método de Linacre**

Consiste da simplificação da equação de Penman ao ponto de tornar possível a estimativa da evaporação e evapotranspiração potencial baseado apenas em dados geográficos (Latitude e Altitude) e temperaturas do ar e do ponto do orvalho, sendo:

$$EPT = \{[\ 700\ (T + 0{,}0006h)/(100 - ø)] + 15(T - Td\ )\}\ /\ (80 - T)$$

Em que EPT é a Evapotranspiração Potencial em mm d^{-1}; T é a temperatura média em ℃; h a altitude do local em metros; ø a latitude em graus (em módulo); e T_d é a temperatura média mensal do ponto de orvalho em ℃.

3.2.5 **Método de Makkink**

Este método é baseado na radiação global (R_g), sendo a relação expressa assim:

$$ETP = Rg\left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}\right) + 0{,}12$$

Onde ETP é a Evapotranspiração Potencial em mm d^{-1}; Rs é radiação solar convertida em unidades de água evaporada, Δ a declinação da curva de saturação da pressão de vapor d'água ($kPa°C^{-1}$) e γ é o fator psicrométrico ($kPa°C^{-1}$).

3.2.6 **Método de Priestley-Taylor**

O método Priestley-Taylor (1972) consistiu-se numa aproximação do método Penman. Nesta equação permanece apenas o saldo de radiação corrigido por um coeficiente empírico (α), conhecido como parâmetro de Priestley-Taylor; o qual incorpora a energia adicional ao processo de evapotranspiração proveniente do termo aerodinâmico. Foi adotado a esse coeficiente um valor médio de 1,26, em condições mínimas de advecção regional. Através desse método a evapotranspiração pode ser obtida pela equação:

$$ET_o = \alpha\ W\ (R_n - G)$$

Em que ET_o é a evapotranspiração em MJ $m^{-2}dia^{-1}$, α é o parâmetro de Priestley-Taylor, R_n o saldo de radiação em MJ $m^{-2}dia^{-1}$, G o fluxo de calor no solo em MJ $m^{-2}dia^{-1}$, e W o fator de ponderação, que varia em função da temperatura do ar (°C) e do parâmetro psicrométrico, que pode ser estimado por (VISWANADHAM et al., 1991):

$$W = 0{,}407 + 0{,}0147\ T \quad \text{para } 0 < T < 16°C$$

$$W = 0{,}483 + 0{,}0100\ T \quad \text{para } 16{,}1 < T < 32°C$$

3.2.7 **Método de Thornthwaite**

A equação de Thornthwaite expressa a evapotranspiração potencial como função exponencial da temperatura média mensal. Foi baseada em dados de precipitação e escoamento superficial de várias bacias hidrográficas dos Estados Unidos.

$$ETP = 16.\left(\frac{10T}{I}\right)^{a}$$

Onde ETP é a Evapotranspiração Potencial (mm/mês); T é a Temperatura média do ar (°C); e I é o índice anual de calor, igual à soma de 12 índices "i", calculado através da equação:

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad \text{e} \quad I = \sum_{1}^{12} i$$

Em que a é função cúbica de I, dada por:

$$a = 0,675\times10^{-6} I^{3} - 0,771\times10^{-4} I^{2} + 1,792\times10^{-2} I + 0,49239$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 TEMPERATURA DO AR E UMIDADE RELATIVA DO AR

A Figura 02 apresenta o comportamento da temperatura do ar e umidade relativa do ar para o período de janeiro de 2003 a agosto de 2008, no sítio experimental do projeto ESECAFLOR – LBA. Observaram-se valores médios anuais de temperatura do ar e umidade relativa do mar de 25,8 °C e 82,9 %, respectivamente. Durante o período chuvoso a temperatura é menor e a atmosfera encontra-se bastante úmida, ocorrendo a situação inversa no período menos chuvoso, caracterizando a sazonalidade da região.

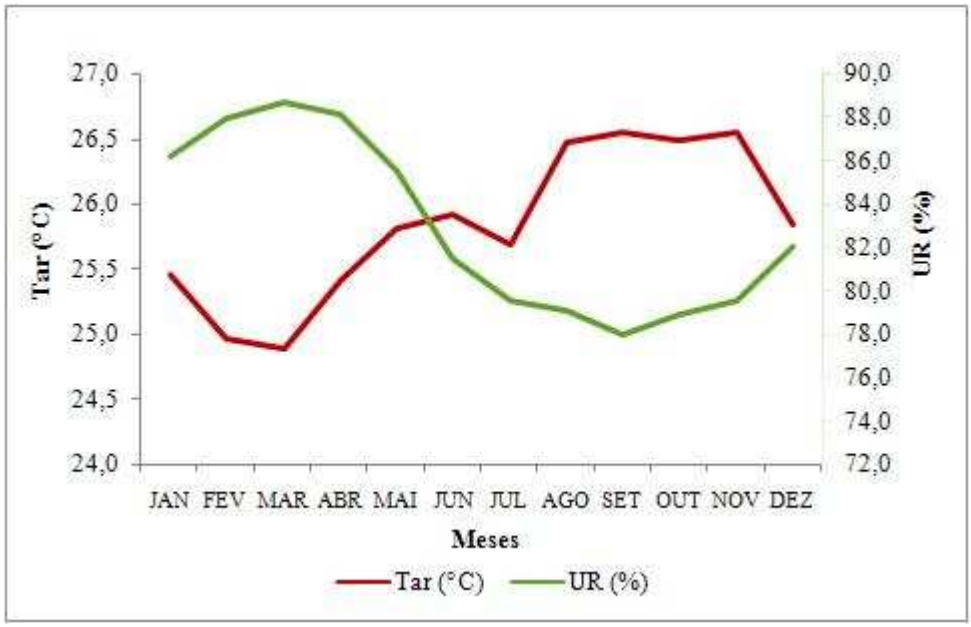


Fig. 02: Composição da distribuição da Temperatura do ar (°C) e Umidade Relativa do ar (%)

4.2 TEMPERATURAS MÉDIA, MÁXIMA, MÍNIMA E DO PONTO DE ORVALHO

A Figura 03 apresenta o comportamento das temperaturas máxima, mínima e do ponto de orvalho para o período de janeiro de 2003 a agosto de 2008, no sítio experimental do projeto ESECAFLOR – LBA. Observou-se que a temperatura máxima anual ficou em torno de 32 °C, apresentando o valor maior no mês de setembro (33,2°C). A temperatura média

sofreu pouca variação durante o ano, com valores em torno de 25 e 26°C. A temperatura mínima e do ponto de orvalho apresentaram comportamentos inversos, em que a temperatura do ponto de orvalho obteve valor máximo de 23,3°C no mês de abril e mínimo de 21,9°C no mês de julho, e a temperatura mínima apresentou valores máximo e mínimo de 22,0°C e 21,1°C, respectivamente.

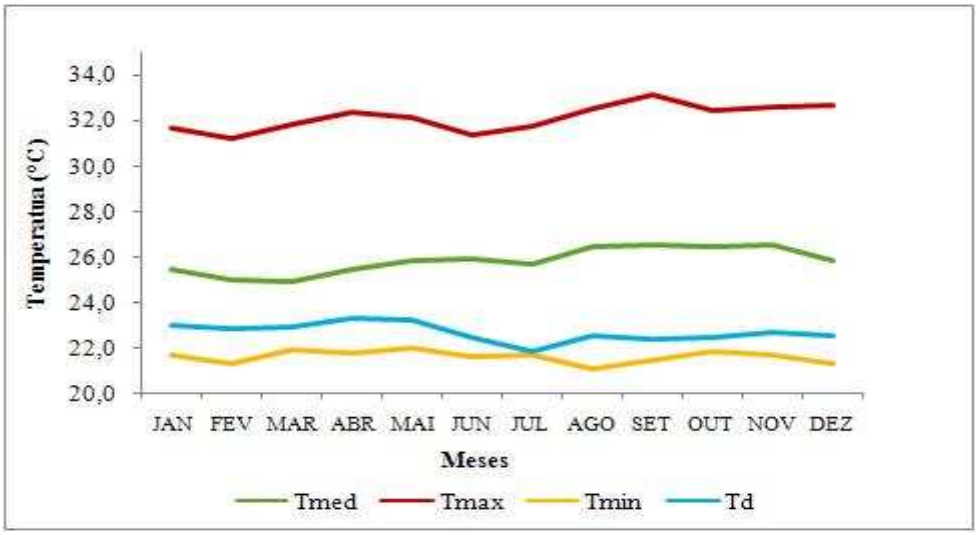


Fig. 03: Distribuição mensal das Temperaturas Média, Máxima, Mínima e do Ponto de Orvalho (°C)

4.3 RADIAÇÃO GLOBAL E INSOLAÇÃO

A Figura 04 apresenta o comportamento da radiação global e insolação para o período de janeiro de 2003 a agosto de 2008, no sítio experimental do projeto ESECAFLOR – LBA. Observou-se que as horas de brilhos solar se deram em conseqüência da disponibilidade de energia, de fato acompanha a variabilidade da região, pois nos meses de março (2,9 h) e abril (3,1 h), que é o período chuvoso, com maior nebulosidade, a quantidade de brilho solar é menor, e a partir do mês de abril há o aumento dos valores de brilho solar, sendo o mês de agosto o ponto máximo (8 horas de brilho solar). O que se observou também com relação ao comportamento mensal da radiação global valores estes bastantes representativos da região.

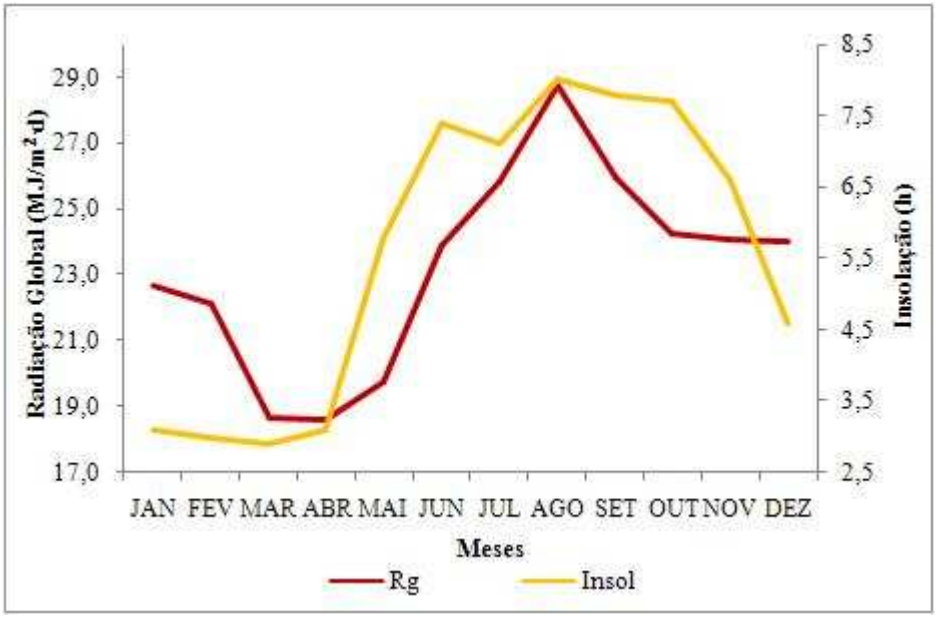


Fig. 04: Composição da distribuição mensal de Insolação (h) e Radiação Global (MJ/m^2.d)

4.4 VELOCIDADE DO VENTO

A Figura 05 apresenta o comportamento da velocidade do vento para o período de janeiro de 2003 a agosto de 2008, no sítio experimental do projeto ESECAFLOR – LBA. Na distribuição mensal da velocidade do vento, na figura 05, verificou-se uma grande variabilidade mensal no período, assumindo valores menores no período chuvoso, mínimo de 0,8 m/s no mês de maio, e valores maiores no período menos chuvoso, máximo de 1,4 m/s no mês de novembro. Apresentou valor médio anual de 1,1 m/s com desvio padrão de 0,2 m/s e coeficiente de variância de 16,4%.

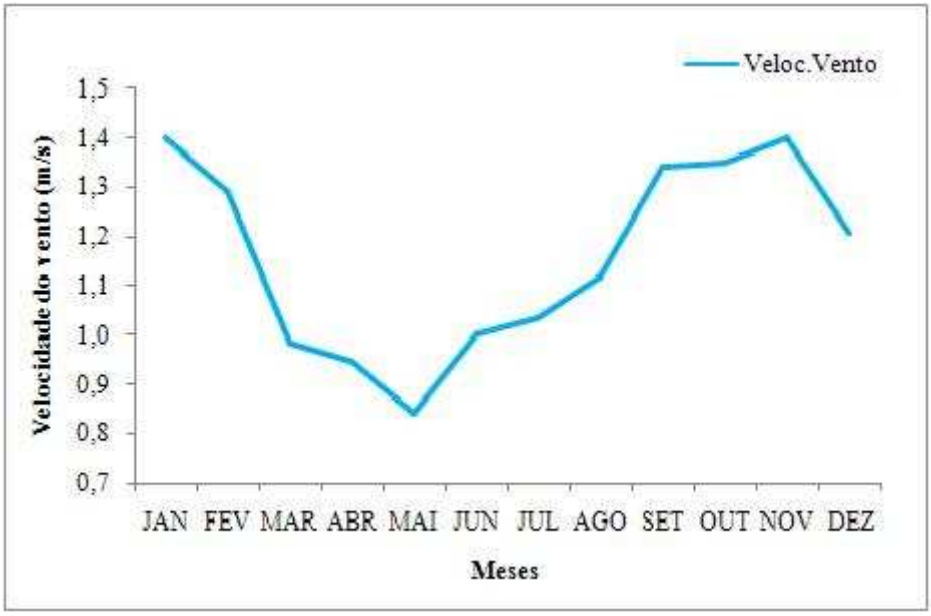


Fig. 05: Distribuição mensal da velocidade do vento (m/s)

4.5 EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL

A evapotranspiração potencial apresenta grande sazonalidade, sendo menor durante a época chuvosa (janeiro a maio) e maior durante a época menos chuvosa (junho a novembro). A tabela 01 apresenta os resultados obtidos através dos métodos utilizados para a estimativa da evapotranspiração potencial. Dentre os métodos estudados, Penman-Monteith, Priestley-Taylor e Thornthwaite apresentaram variação média mais próxima entre eles. Os métodos Jensen-Haise e Makkink superestimaram os valores, com médias de 7,08 mm/d^{-1} e 7,15 mm/d^{-1}, respectivamente.

Os métodos Penman-Monteith, JensenHaise, Makkink e Priestley-Taylor foram os que apresentaram maiores coeficientes de variação, dentre todos os métodos, refletindo portanto a sazonalidade do fenômeno. Hargreaves e Linacre apresentaram menor variabilidade, não caracterizando a sazonalidade da região.

Tabela 01: Principais características estatísticas da evapotranspiração potencial para todos os métodos estudados.

	Penman-Monteith	Hargreaves	Jensen-Haise	Linacre	Makkink	Priestley-Taylor	Thornthwaite
JAN	3,33	4,95	6,93	2,23	7,02	3,64	3,91
FEV	3,59	4,88	6,66	2,24	6,82	4,07	3,64
MAR	3,15	4,95	5,72	2,20	5,79	3,59	3,59
ABR	3,23	5,14	5,76	2,26	5,80	3,66	3,84
MAI	3,84	5,02	6,10	2,25	6,14	4,58	4,04
JUN	4,21	4,86	7,24	2,15	7,37	5,06	4,10
JUL	4,18	4,97	7,89	2,02	7,99	4,98	3,98
AGO	4,47	5,31	8,80	2,13	8,89	5,24	4,48
SET	4,56	5,43	8,07	2,07	8,08	5,22	4,50
OUT	4,54	5,18	7,51	2,10	7,54	5,23	4,52
NOV	4,26	5,16	6,90	2,14	6,93	4,73	4,53
DEZ	3,65	5,16	7,41	2,12	7,46	3,97	4,13
Média	3,92	5,08	7,08	2,16	7,15	4,50	4,10
DesvPad	0,52	0,18	0,94	0,08	0,94	0,67	0,34
CV	13,26	3,46	13,26	3,57	13,17	14,90	8,26
Média total	4,87	4,87	4,87	4,87	4,87	4,87	4,87

A Figura 06 apresenta o comportamento da evapotranspiração potencial para o período de janeiro de 2003 a agosto de 2008, no sítio experimental do projeto ESECAFLOR – LBA. Verificou-se que os métodos Makkink e Jensen-Haise apresentaram comportamentos com grande sazonalidade da região, entretanto seus valores superestimam em relação à média dos métodos no período (4,87 mm/d^{-1}). O método Hargreaves foi o que apresentou valores mais próximos à média, porém não caracterizou a variabilidade regional com picos máximos nos períodos mais chuvosos e menos chuvoso da região.

O método Linacre foi o que teve o pior desempenho como estimativa de evapotranspiração potencial, pois seus valores além de subestimados em relação à média, não apresentou sazonalidade, fato bem conhecido em relação a evapotranspiração potencial da região.

O método de Thornthwaite, apesar de ser um método bastante simples, apresentou bom desempenho na estimativa da evapotranspiração potencial, apesar de seus valores serem subestimados, com pico mínimo de 3,59 mm/d^{-1} no mês de março, e máximo de 4,53 mm/d^{-1} no mês de novembro.

Penman-Monteith é o método mais preciso para a avaliação dos efeitos do clima sobre evapotranspiração (BERNARDO, 1995). De fato, este acompanha a variabilidade climática da região, sendo seus valores um pouco abaixo da média, com valor mínimo de 3,15 mm/d^{-1} no mês de março, e valor máximo de 4,56 mm/d^{-1} no mês de setembro. O mesmo acontece com o

método de Priestley-Taylor, no entanto apresentando valores subestimados da média no período chuvoso, e valores superestimados no período menos chuvoso, com mínimos e máximos de, 3,59 mm/d^{-1} (março) e 5,24 mm/d^{-1} (agosto), respectivamente. Sendo, portanto os métodos Thornthwaite, Penman-Monteith e Priestley-Taylor os melhores para se estimar a evapotranspiração potencial.

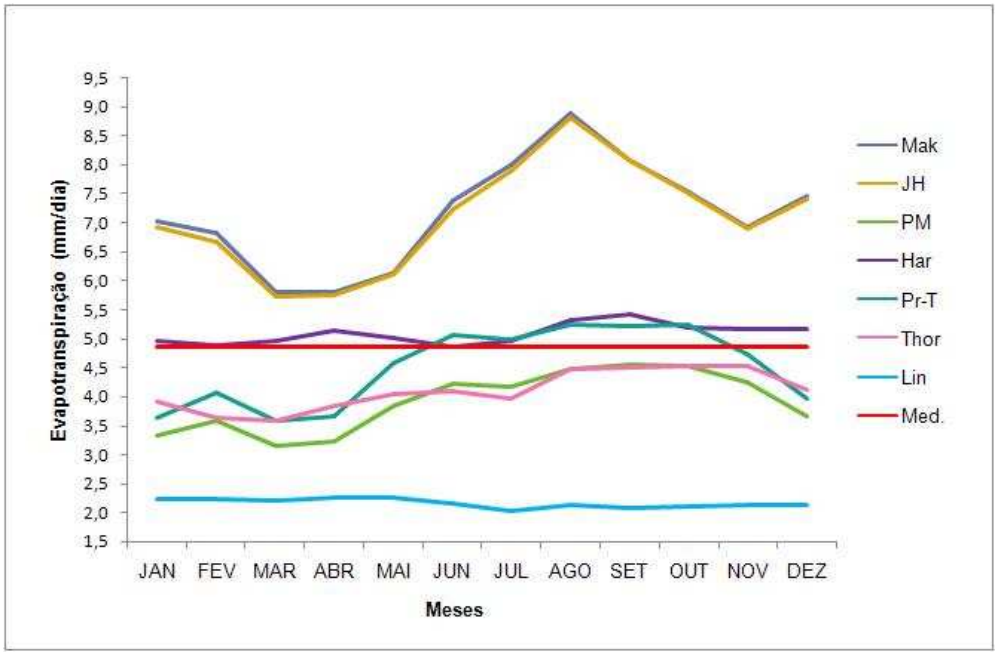


Fig. 06: Distribuição mensal da evapotranspiração potencial nos sete métodos e média total

7 CONCLUSÃO

Diversos estudos foram desenvolvidos com o objetivo de estimar a evapotranspiração potencial, seja com propósitos hidrológicos e agrometeorológicos, com o avanço da fronteira agrícola, seja no contexto ambiental, com as prováveis modificações climáticas na região.

Com base nos resultados obtidos, podemos concluir que:

- Os métodos Makkink e Jensen-Haise, apesar de apresentarem sazonalidade, superestimaram a ETP durante o período estudado;
- O método Hargreaves foi que mais se aproximou da média, porém com pouca variabilidade, não representando a sazonalidade da região;
- O método Linacre subestimou a ETP em todos os meses, não caracterizando a variabilidade sazonal da região;
- Os métodos Penman-Monteith, Priestley-Taylor e Thornthwaite, foram os que apresentaram os melhores valores, caracterizando bem a sazonalidade da ETP da região.

REFERÊNCIAS

BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. Evaporação e Evapotranspiração. **Boletim Técnico IPAGRO**, Porto Alegre, n. 7, p. 3-96, maio. 1981.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. Ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995. p.657.

CAMPOS, H. **Estatística experimental não paramétrica.** 4.ed. Piracicaba: ESALQ, 1983. 349p.

C. FILHO, J. D. da ; RIBEIRO, A.; COSTA, M. H.; COHEN, J. C. P**.** Mecanismos de Controle da Variação Sazonal da Transpiração de uma Floresta Tropical no Nordeste da Amazônia**. Revista Acta Amazônia**. 2005.

COSTA, A. C. L., SILVA, R. B. C., COSTA, R. F. da, OLVEIRA, P. J., COSTA, J. M. N., ANDRADE, V. M. S., BRAGA, A., GONÇALVES, P. H. L., JUNIOR, J. A. S., MALHI, Y., MEIR, P. **Evapotranspiração potencial em ecossistema de manguezal na Amazônia – Bragança, Pará, Brasil.** 2003a.

COSTA, R. F. da; COSTA, A. C. L. da; MEIR, P.; MALHI, Y.; FISHER, R. A.; BRAGA, A. P.; OLIVEIRA, P. J.; SILVA JUNIOR, J. A.; GONÇALVES, P. H. L.; COAST, J. M. N.; VALE, E. D.; SOTTA, J. C.; COHEN, R. L.; RUIVO, M. L.; SILVA, R. B. C.; ANDRADE, V. M. S.; GRACE, J. Projeto LBA/ESECAFLOR em Caxiuanã: Características, atividades e resultados. In: SEMINÁRIO DE 10 ANOS DE ATIVIDADES DA ECFPN EM CAXIUANÃ, 1., 2003, Belém. **Resumos.** Belém: MPEG, 2003b. CD-ROM.

COSTA R. F.; SILVA, V. de P. R. da; RUIVO, M. L. P., MEIR, P.; COSTA, A. C. L.; MALHI, Y. S.; BRAGA, A. P.; GONÇALVES, P. H. L.; SILVA JR, J. de A.; GRACE, J. Transpiração em espécie de grande porte na floresta Nacional de Caxiuanã, Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**-v.11, n.2, p.180-189, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n2/v11n2a08.pdf> Acesso em: 23 nov. 2008.

DINIZ, G. B. **Meteorologia Física**. Pelotas: Editora Universitária UFPEL, 2006.

FALLS, L. W. **The Beta distribution**: a statical model for world cloud cover Alabama: NASA, 1973. 6p. (NASA Technical Memorandum, 64714).

FARIA, R. A.; CARVALHO, D. F.; RIBEIRO, A.; OLIVEIRA, M. A. A. de. Influência do método de estimativa da evapotranspiração de referênciana demanda de irrigação suplementar para o milho (Zea mays L.), na Bacia do Rio Grande (MG). **Ciênc. Agrotec., Lavras**, v.24, (Edição Especial), p.187-196, dez. 2000.

FERREIRA DA COSTA, R., MEIR, P., et al. Soil water contents in Caxiuanã Forest Lba Site; Pará, Brazil. In: **STBM_LBA/ECO,** 17th Science Team Business LBA/ECO. Fortaleza, Ce, Brazil. 2003.

GANGOPADHYAYA, M.; HARBEC, G. E.; NORDENSON, T. J.; OMAR, M. H.; ORYVAEVI, V. A. **Measurement and estimation of evaporation**. Geneva, WMO. 1968. (Technical note, 83).

HAAN, C.T. **Statistical methods in hydrology.** Ames: Iowa State University Press, 1994. 378p.

HUSCHKE, R. E. **Glossary of meteorology**, Boston: American Meteorological Society. 638p. 1970.

JENSEN, M.E. **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1974. 215 p.

LIMA, W. de P.; FREIRE, O. **Evapotransiração em plantações de eucalipto e de pinheiro, e em vegetação herbácea natural**. 1976. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr12/cap04.pdf>Acesso em: 28 jul. 2008

MARQUES JR, S. , SAAD, J. C. C., MOURA, M. V. T. de. **Modelo Interativo para Estimativa da Evapotranspiação de Referência Provável.** 1995. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90161995000200003> Acesso em: 28 jul. 2008.

MENDONÇA, J. C., SOUSA, E. F. de, BERNARDO, S., DIAS, G. P., GRIPPA, S. **Comparação entre métodos de estimativa de evapotranspiração de referência (ETo) na região Norte Fluminense, RJ**. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662003000200015 >Acesso em: 28 jul. 2008

MENEZES, S. J. M. da C., SEDIYAMA, G. C., SOARES, V. P., GLERIANI, J. M., PINTO, S de A. C., ANDRADE, R. G. **Evapotranspiração regional utilizando o SEBAL em condições de relevo montanhoso**. 2007. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.06.13.38/doc/3475-3482.pdf >Acesso em: 28 jul. 2008.

MIRANDA, F. R. de, OLIVEIRA, J. J. G., SOUZA, F. **Evapotranspiração máxima e coeficientes de cultivo para cultura da melancia irrigada por gotejamento**. 2004. Disponível em: <http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_2898.pdf>Acesso em: 28 jul. 2008.

MOURA, M. S. B. de; E. SOBRINHO, J. ; P. FILHO, F. Q. ; O. FILHO, F. X. ; MAIA, A. J. **Estimativa da evapotranspiração de referência máxima possível para o Município de Mossoró – RN, utilizando a distribuição probabilística de Gumbel**. 2001. Disponível em: <http://www.ufersa.edu.br/caatinga/artigos/Caa1404.pdf> Acesso em: 29 jul. 2008

MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI (MPEG). 2008. Disponível em: <http://www.girafamania.com.br/introducao/zoo_goeldi.htm> Acesso em: 28 nov. 2008.

OLIVEIRA, M. do C. F de. **Curso de Especialização em Agrometeorologia-Evapotranspiração**. Belém: UFPA 2001.

PENMAN, H. L. Evaporation: an introductory survey. **Nethearlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, n.4, p.9-29. 1956.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração.** Piracicaba-SP-FEALQ. 1997.

PROJETO ESECAFLOR, Estudo da Seca da Floresta. 2004. Disponível em: <http://br.geocities.com/esecaflor/localizacao.html> Acesso em: 28 nov. 2008.

RIBEIRO, J. B. M. **Análise comparativa das características microclimáticas entre áreas de floresta e de pastagem na Amazônia.** 1993. 67f. (Mestrado em Agronomia) - Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil. 1993.

SALATI, E. The climatology and hydrografy of Amazonia. In : PRANCE, G. T. ; LOVEJOY, T. E. **Key environments**: Amazonia. Oxford: Pergamom, 1985. Cap.2, p. 18-48.

SILVA, F. C. da, FIETZ, C. R., FOLEGATTI, M. C., PEREIRA, F. A. de C. **Distribuição e freqüência da evapotranspiração de referência de Cruz das Almas, BA.** 1998. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v2n3/284.pdf> Acesso em: 29 jul. 2008

SILVA, V. de P. R., B. FILHO, A. F., SILVA, B. B. da, CAMPOS, J. H. B.da C., Desenvolvimento de um Sistema de Estimativa da Evapotranspiração de Referência. 2005. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p. 547-553. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br> Acesso em: 25 nov. 2008.

VILLA NOVA, N. A.; SALATI, E. ; MATSUI, E. Estimativa da evapotranspiração na Bacia Amazônica. **Acta Amazônica**, v. 6, n. 2, p. 215-228. 1976.

YAO, A.Y.M. The R index for plant water requirement. **Agriculture Meteorology,** Amsterdam, v.6, p.259-273. 1969.