



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
CAMPUS DE JI-PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



EULER NOIMAN GONÇALVES

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ESTIMADA POR MÉTODOS
EMPÍRICOS EM DOIS DIFERENTES ECOSISTEMAS
NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA**

Ji-Paraná

2015

EULER NOIMAN GONÇALVES

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ESTIMADA POR MÉTODOS
EMPÍRICOS EM DOIS DIFERENTES ECOSISTEMAS
NO SUDOESTE DA AMAZÔNIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Renata Gonçalves Aguiar

Co-orientadora: Roziane Sobreira dos Santos

Ji-Paraná

2015

G635e
2015

Gonçalves, Euler Noiman

Evapotranspiração de referencia estimada por métodos empíricos em dois diferentes ecossistemas no sudoeste da Amazônia. / Euler Noiman Gonçalves; orientador, Renata Gonçalves Aguiar. -- Ji-Paraná, 2015
71 p. : 30 cm

Trabalho de conclusão de Curso Bacharel em Engenharia Ambiental. – Universidade Federal de Rondônia, 2015

Inclui referências

1. Efeitos Climáticos. 2. Meteorologia e Climatologia. 3. Manejo de Irrigação. I. Aguiar., Renata Gonçalves. II. Universidade Federal de Rondônia. III. Título

CDU 551.5:631.4

Bibliotecário: Alex Almeida CRB 11/ 853



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
CAMPUS DE JI-PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL



TÍTULO: EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ESTIMADA POR MÉTODOS
EMPÍRICOS EM DOIS DIFERENTES ECOSISTEMAS NO SUDOESTE DA
AMAZÔNIA

AUTOR: EULER NOIMAN GONÇALVES

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi defendido como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e aprovado pelo Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Campus de Ji-Paraná, no dia 15 de dezembro de 2015.

Nara Lúcia Reis de Andrade

Profa. Dra. Nara Lúcia Reis de Andrade (Membro)
Universidade Federal de Rondônia

Robson Alves de Oliveira

Prof. Ms. Robson Alves de Oliveira (Membro)
Universidade Federal de Rondônia

Renata Gonçalves Aguiar

Profa. Dra. Renata Gonçalves Aguiar (Orientadora)
Universidade Federal de Rondônia

Ji-Paraná, 15 de dezembro de 2015.

DEDICATÓRIA

À minha família, pelo apoio em todos os momentos, e aos meus amigos pelas alegrias compartilhadas.

AGRADECIMENTOS

Sempre tive a opinião que ninguém consegue atingir seus objetivos sem encontrar as pessoas certas e sem o apoio das pessoas que nos amam. Tive a sorte nesses cinco anos de faculdade, de encontrar pessoas inesquecíveis que contribuíram de várias maneiras distintas para que eu nunca desistisse do meu sonho, então eu agradeço:

- À minha mãe Ana Lúcia Borges Gonçalves por seu amor, carinho e cuidados em todos os detalhes da minha vida.
- Ao meu pai Edimar Noiman Gonçalves, por ser exemplo de trabalhador e um verdadeiro líder familiar.
- Aos meus irmãos Helder Noiman Gonçalves, Edimar Noiman Gonçalves Filho e Bruna Vitória Noiman Gonçalves por serem exemplos de companheirismo.
- À minha estimada orientadora Profa. Renata Gonçalves Aguiar por seu apoio e orientação ao longo desta caminhada de escrita do trabalho, pela paciência que demonstrou e pelo incentivo sempre nas horas de dificuldades.
- Á minha co-orientadora Profa. Roziane Sobreira dos Santos por sua ajuda.
- À minha namorada Angélica Estok, por ser essa pessoa amada e especial e pelo carinho demonstrado por mim.
- Aos meus amigos Cindy Deina Farto, Enaldo Mendonça, Fagner Alves de Lima e Thandy Junio Pinto por serem pessoas incríveis em todos os aspectos e contribuírem para minha formação como pessoa. Quero agradecer muito vocês pelo todos os momentos engraçados e de companheirismo que tivemos. Sempre Descolados.
- Aos meus colegas de turma, por momentos de risadas e aprendizados.
- Aos professores Ana Lúcia Denardin da Rosa, Elizabete L. Nascimento e Robson Alves de Oliveira, por além de serem excelentes profissionais, mas

também serem pessoas com um ótimo coração que me ajudaram sempre que necessitei, além da minha capacitação intelectual mas também com conselhos pessoais.

- Aos demais professores do Departamento de Engenharia Ambiental em especial ao Alberto Dresch Webler, Alex Mota dos Santos, Nara Luisa Reis de Andrade e Margarita M.D. Orozco pela contribuição para o meu aprendizado.
- Ao professor Leonardo J. Gonçalves Aguiar que contribuiu auxiliando na conferência de diversas equações utilizadas no meu estudo e sempre ficou à disposição de ajudar no que eu precisasse.
- Ao programa LBA pelo fornecimento dos dados necessários para a realização desse estudo.
- Às bolsistas do LBA Camila B. Ruezzen e Jayne S. M. do Nascimento por momentos de aprendizado nas reuniões mensais e pela ajuda no manuseio dos dados.

“A ciência consiste em substituir o saber que parecia seguro por uma teoria, ou seja, por algo problemático”.

José Ortega y Gasset (1883-1955), Filósofo Espanhol.

RESUMO

O entendimento da evapotranspiração de referência se dá principalmente para o planejamento e manejo de irrigação (uso na agricultura), mas também é considerada um elemento climático de demanda hídrica, na aplicação de estudos meteorológicos e climatológicos. A equação FAO-56 Penman-Monteith é considerada a equação padrão para as estimativas da evapotranspiração de referência, recomendada pela FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação). Entretanto, essa equação é composta por um número elevado de variáveis meteorológicas, que de modo geral não são medidas nas estações de monitoramento no Brasil, ou quando são apresentam expressivo percentual de falhas em seu banco de dados. Por isso, objetivou-se nesse estudo avaliar quatro métodos empíricos que requerem menor número de variáveis para a estimativa da evapotranspiração de referência, Camargo, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor e Jensen-Haise, e comparar seus desempenhos com o método padrão de Penman-Monteith, verificando assim, qual o método que melhor adapta-se às condições climáticas em dois diferentes ecossistemas no sudoeste da Amazônia. Foram utilizados dados meteorológicos das torres de monitoramento pertencentes ao Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera (Programa LBA) do ano de 2010, sendo uma localizada em área de floresta tropical úmida preservada, na Reserva Biológica do Jaru e a outra com pastagem do tipo *Brachiaria brizantha* localizada na Fazenda Nossa Senhora, situadas na região leste do estado de Rondônia. Os resultados indicaram que a evapotranspiração de referência pode ser estimada adequadamente pelo método de Priestley-Taylor em todos os períodos do ano e nas duas localidades, pois esse método apresentou um erro médio quadrático e um erro absoluto médio mais aproximado ao zero e uma classificação de boa a ótima de acordo com a classificação sugerida pela metodologia de Camargo e Sentelhas.

Palavras-chave: Penman-Monteith, floresta tropical úmida, Camargo, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor.

ABSTRACT

The understanding about reference evapotranspiration is mainly, gives the planning and irrigation management (agricultural use), but it also is considered a climatic element of water demand in the application of meteorological studies and climatologically. A FAO-56 Penman-Monteith is considered the standard equation for estimating reference evapotranspiration, recommended by the FAO (United Nations Food and Agriculture). However, this equation is composed of a large number of meteorological variables, which generally are not measured in monitoring stations in Brazil, or shows flaws in your data base, who many times, could be due to errors inherent to the sensors like a environmental conditions changes, human error in measurements or even lack of maintenance. Then, the aim of in this study was aimed in this study to evaluate four empirical methods that require fewer variables to estimate the reference evapotranspiration, Camargo, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor and Jensen-Haise, and compare their performance with the standard Penman-Monteith, checking so, which method best suited to climate conditions in two different ecosystems in southwestern Amazonia. Meteorological data from monitoring towers belonging to the experiment of the Large Scale Biosphere-Atmosphere (LBA) in 2010 were used, one located in the tropical rainforest habitats in the Biological Reserve of Jaru and the other with grazing type Brachiaria located at Fazenda Nossa Senhora, in eastern state of Rondonia. The results indicated that the reference evapotranspiration can be estimated properly by the Priestley-Taylor method in all periods of the year and in two locations, because this method showed a mean square error and mean absolute error more approximate to zero and a rating of good to great according to the classification suggested by the methodology of Camargo and Sentelhas.

Keywords: Penman-Monteith, rain forest, Camargo, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Localização da Reserva Biológica do Jaru.....**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 2** – Localização da Fazenda Nossa Senhora.....**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 3** – Torres localizadas na Reserva Biológica do Jaru (à esquerda) e na Fazenda Nossa Senhora..**Erro! Indicador não definido.9**
- Figura 4** – *Box-plot* da Fazenda Nossa Senhora.....**Erro! Indicador não definido.9**
- Figura 5** – *Box-plot* da Rebio Jaru..... 41
- Figura 6** – Evapotranspiração de referência calculada por métodos empíricos no período chuvoso da Fazenda Nossa Senhora no ano de 2010.**Erro! Indicador não definido.4**
- Figura 7** – Evapotranspiração de referência calculada por métodos empíricos no período chuvoso na Rebio Jaru no ano de 2010**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 8** – Evapotranspiração de referência calculada por métodos empíricos no período de transição chuvoso-seco da Fazenda Nossa Senhora no ano de 2010**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 9** – Evapotranspiração de referência calculada por métodos empíricos no período transição chuvoso-seco da Rebio Jaru no ano de 2010 47
- Figura 10** – Evapotranspiração de referência calculada por métodos empíricos no período seco na Fazenda Nossa Senhora no ano de 2010 50
- Figura 11** – Evapotranspiração de referência calculada por métodos empíricos no período seco na Rebio Jaru ano de 2010 50

Figura 12 – Evapotranspiração de referência calculada por métodos empíricos no período de transição seco-chuvoso (outubro-dezembro) na Fazenda Nossa Senhora no ano de 2010..... 52

Figura 13 – Evapotranspiração de referência calculada por métodos empíricos no período de transição seco-chuvoso (outubro-dezembro) na Rebio Jaru no ano de 2010. **Erro! Indicador n**

Figura 14 – Evapotranspiração de referência média ao longo do ano de 2010 em uma área de floresta (Rebio Jaru) comparada com uma área de pastagem (Fazenda Nossa Senhora)56

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Informação das variáveis micrometeorológicas utilizadas no estudo.....**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 2** - Valor de K em dependência à temperatura média anual (Ta).
.....30
- Tabela 3** - Valores do coeficiente de Camargo e Sentelhas (1997) e sua classificação.....
.....**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 4** - Informação do valores mínimos e máximos utilizados no estudo.....**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 5** - Aproveitamento dos dados (%) na Fazenda Nossa Senhora no ano 2010.....**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 6** - Análise do valor máximo e mínimo das variáveis de pressão atmosférica (Pa) e velocidade do vento (u_2) nos dados da Fazenda Nossa Senhora no ano de 2010.
.....
.....**Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 7** - Aproveitamento dos dados (%) na Rebio Jarú no ano 2010.
.....**Erro! Indicador não definido.**

Tabela 8 - Médias diárias da evapotranspiração (mm dia⁻¹) na Fazenda Nossa Senhora e o p-valor encontrado pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis.

.....E

rro! Indicador não definido.

Tabela 9 - Médias diárias da evapotranspiração (mm dia⁻¹) na Rebio Jaru e o p-valor encontrado pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis.

.....E

rro! Indicador não definido.

Tabela 10 - Desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária no período chuvoso (janeiro-abril) para a Fazenda Nossa Senhora.

.....E

rro! Indicador não definido.⁴

Tabela 11 - Desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária no período chuvoso (janeiro-abril) para a Rebio Jaru.

.....E

rro! Indicador não definido.

Tabela 12 - Desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária no período chuvoso-seco (abril-junho) para a Fazenda Nossa Senhora.

.....E

rro! Indicador não definido.

Tabela 13 - Desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária no período chuvoso-seco (abril-junho) para a Rebio Jaru.

.....E

rro! Indicador não definido.

Tabela 14 - Desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária no período seco (julho-setembro) para a Fazenda Nossa Senhora.

.....E

rro! Indicador não definido.

Tabela 15 - Desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária no período seco (julho-setembro) para a Rebio Jaru.

.....E

rro! Indicador não definido.

Tabela 16 - Desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária no período de transição seco-chuvoso (outubro-dezembro) para a Fazenda Nossa Senhora**Erro! Indicador não definido.**

Tabela 17 - Desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária no período de transição seco-chuvoso (outubro-dezembro) para a Rebio Jarú**Erro! Indicador não definido.**

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
1 REFERENCIAL TEÓRICO	19
1.1 ALTERAÇÕES NO USO DA TERRA.....	19
1.1.1 Na Amazônia	20

1.1.2 Em Rondônia	21
1.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO	22
1.2.1 Métodos Empíricos	24
2 MATERIAL E MÉTODOS	26
2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	26
2.1.1 Reserva Biológica do Jaru	26
2.1.2 Fazenda Nossa Senhora	28
2.2 DESCRIÇÃO DOS INSTRUMENTOS	28
2.3 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO	30
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	33
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
3.1 ANÁLISE DE FALHAS E COMPOSIÇÃO DO BANCO DE DADOS.....	36
3.2 ANÁLISE EXPLORÁTORIA DOS DADOS	39
3.3.1 Período Chuvoso.....	44
3.3.2 Período de Transição Chuvoso-Seco.....	47
3.3.3 Período Seco	50
3.3.4 Período Transição Seco-Chuvoso.....	52
3.4 ANÁLISE COMPARATIVA DOS SÍTIOS.....	55
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
REFERÊNCIAS	61

INTRODUÇÃO

A água é um dos mais importantes recursos naturais, pois ela é essencial, seja como componente bioquímico dos seres humanos, como também no funcionamento dos ecossistemas, além da utilização desse recurso em atividades industriais e na geração de energia elétrica.

O grande desafio atualmente é gerenciar esse recurso de forma adequada, pois a demanda está cada vez maior, devido ao aumento populacional, ao aumento da expectativa de vida e principalmente pelo modo de vida da população, onde é necessário uma maior conscientização para um menor consumo dos recursos naturais (BERTOLO, 2006).

Um dos principais componentes do ciclo hidrológico é a evapotranspiração. Segundo definição de Coelho Filho (2011) é a soma da quantidade de água perdida por uma superfície coberta com vegetação, por meio da evaporação direta da superfície do solo e da água perdida pelas plantas por transpiração.

Sendo assim, diversos estudos de estimativa da evapotranspiração surgem para quantificação das necessidades hídricas das culturas, bem como sobre o aproveitamento dos recursos hídricos, e também para compreender a relação no sistema solo-água-planta-atmosfera (FERRAZ, 2008).

Dentre diversos métodos empíricos de estimativa de evapotranspiração, destaca-se o método de Penman-Monteith, por apresentar um bom desempenho de acordo com as condições climáticas em diversas regiões, sendo considerado um método padrão pela FAO.

Entretanto, esse método é composto por um número elevado de variáveis, sendo necessário um aparato meteorológico para recolhimento dos dados de entrada (BORGES JUNIOR et al., 2012). Assim sendo, pode dificultar o cálculo da estimativa da evapotranspiração, por isso foram desenvolvidos métodos alternativos que necessitam de menor número de variáveis de entrada para estimar a evapotranspiração local, como os métodos de Camargo, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor e Jensen-Haise, entre outros.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi avaliar quatro métodos empíricos que requerem menor número de variáveis para a estimativa da evapotranspiração de referência, sendo esses, Camargo, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor e Jensen-Haise, e comparar seus desempenhos com o método padrão de Penman-Monteith, verificando assim, qual o método que melhor adapta-se às condições climáticas de uma área de pastagem e outra de floresta no sudoeste da Amazônia.

Além desse objetivo principal, foram delineados os objetivos específicos para que houvesse uma compreensão dos valores encontrados, sendo assim, seguiu como objetivo específico verificar o comportamento da evapotranspiração durante os diferentes períodos do ano e comparar a evapotranspiração de referência estimada de uma área de floresta com uma área de pastagem, permitindo analisar se existem diferenças entre elas.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 ALTERAÇÕES NO USO DA TERRA

As mudanças no uso e cobertura da terra vêm acontecendo em grande escala desde a revolução industrial ocorrida na Inglaterra no século XVIII. A partir disso, houve novos processos produtivos descobertos e globalizados, além de uma extensa expansão populacional e de um aumento da capacidade tecnológica (PEREIRA; SILVA; MORAES, 2012).

O uso e a cobertura do solo têm um papel fundamental no delineamento do ambiente em escalas global, regional e local. Sendo que as mudanças no uso e cobertura do solo podem influenciar negativamente diversos processos, dentre eles, a diversidade biológica, o clima e os ciclos biogeoquímicos e da água (KRUSCHE et al., 2005). Entretanto, a alteração no uso da terra é necessária para a produção de alimentos, para alternativas de novas bases energéticas e para o desenvolvimento do país (LOURENZANI; CALDAS, 2014).

Por muitas vezes as mudanças no uso da terra estão diretamente relacionadas com as mudanças climáticas observadas no planeta. Sendo que as mudanças climáticas estão quase sempre associadas com as atividades antropogênicas ocasionadas pelo homem como as queimadas, os desmatamentos e as atividades industriais que proporcionam o aumento da emissão de gases poluentes, contribuindo e intensificando o efeito estufa e o aquecimento global (GOUVÊA, 2008).

Estima-se que desde 1750 dois terços das emissões de dióxido de carbono (CO₂) vieram da queima de combustíveis fósseis e o restante das mudanças no uso da terra, sendo que aproximadamente 45% desse gás ainda permanecem na atmosfera (CAMPOS, 2007).

No entanto, estudos sobre mudanças climáticas referentes ao uso da terra, estão cercados de incertezas, pois é difícil o entendimento do comportamento não-linear de todas as variáveis (TORRES, 2014), além disso, as mudanças climáticas podem ser oriundas de ações naturais como erupções vulcânicas, variações no eixo da terra e na órbita terrestre, movimentos das placas tectônicas, etc.

Em contrapartida aos problemas gerados pelas mudanças no uso da terra, a Floresta Amazônica desempenha um papel essencial para a manutenção regional e global, por apresentar uma floresta tropical úmida que influencia na fixação ou emissão de gases e da evapotranspiração (AGUIAR, 2005).

1.1.1 Na Amazônia

A região Amazônica não difere de outras regiões do país, onde as ações antrópicas são de grande escala, uma vez que existe uma tendência na região Amazônica em substituição de área de floresta por área de pastagem. Dos cerca de 6,5 milhões de km² de floresta tropical, correspondendo aproximadamente a 56% das florestas tropicais da Terra (ROCHA; CORREIRA; FONSECA, 2015), mais de 700 mil km² já foram desmatados apenas no território brasileiro (INPE, 2013). Fato muito preocupante na região, pois a expressiva extensão florestal presente na Amazônia é de extrema importância, sendo que a floresta abriga grande parte da biodiversidade mundial (FEARNSIDE, 2013).

Uma vez destruídas, as florestas são dificilmente regeneradas, especialmente em regiões de clima tropical, como é o caso da Amazônia ou do Nordeste Brasileiro, onde as radiações solares são extremamente fortes e o solo apresenta defasagem de nutrientes, intensificando assim os impactos decorrentes das atividades antrópicas, propiciando o avanço da desertificação (SUGUIO, 2008).

A pecuária e a monocultura são vistas em grande escala em meio à floresta tropical. Soares-Filho et al. (2005) estimam que mais de 50% da área original da Amazônia será ocupada com soja até 2030, caso não haja uma ação firme do governo no combate ao desmatamento.

Entretanto, com a questão ambiental sendo cada vez mais discutida e com o aumento da pressão nacional e internacional, surgiu uma nova tendência, que faz da Amazônia uma região de fronteira socioambiental de extrema importância não só para o Brasil, mas para o mundo. Sendo que muitos projetos de multinacionais e de organizações não governamentais com foco em preservação trouxeram para a região uma nova forma de ser (suas comunidades e povos) e de se desenvolver (SILVA, 2013).

A partir de 1988, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) começou a realizar o mapeamento de forma efetiva no desmatamento na Amazônia Legal, através do Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES), resultando em dados de taxas anuais de desmatamento. Através desses dados é possível realizar o monitoramento.

Em 2014 o INPE divulgou um dado positivo, que consta que ocorreu uma redução na taxa de desmatamento na Floresta Amazônica entre 2013 e 2014. Em relação ao período anterior (2012 a 2013), a diminuição do desmatamento foi de 18%, mostrando o esforço do país na busca da manutenção das florestas.

No estado de Rondônia também é realizado um monitoramento pela Secretaria de Estado de Desenvolvimento Ambiental (SEDAM), entretanto, Piontekowski et al. (2014) relatam que ocorreu um aumento substancial do desmatamento ilegal nos últimos anos dentro de áreas protegidas no Estado de Rondônia, apresentando risco de descaracterização do meio ambiente do estado.

1.1.2 Em Rondônia

A relação no uso e ocupação do Estado de Rondônia iniciou principalmente a partir da década de 1960, onde vários fatores foram determinantes para o início da exploração do estado, um deles foi o estabelecimento de leis que promoveram o desenvolvimento socioeconômico da Amazônia brasileira, que apresentava planos de inserção para a agricultura, onde foi incentivado o processo de desmatamento da Floresta Amazônica (SILVA et al., 2005).

Esses incentivos proporcionaram um elevado aumento populacional do estado, juntamente com o crescimento de indústrias madeireiras, que aliado à construção da BR proporcionou melhor acesso e desenvolvimento da região.

Rondônia está diretamente ligada à atividade da agricultura, da pecuária e atualmente, da produção de energia elétrica. Tais atividades possuem uma relação intrínseca com as profusas perturbações do meio ambiente, como as elevadas taxas de desmatamento, que levam as fronteiras agropecuárias por sobre as Florestas Amazônicas, sendo também, inseridos no contexto das mudanças climáticas (WEBLER, 2011).

Segundo Cardozo et al. (2014) o estado de Rondônia apresentou altos índices de desmatamento nos anos anteriores, atingindo áreas de 18.468 km² de queimadas, que compreendem 7,7% de todo o estado, e em 2010 foram 14.572 km², que corresponde a 6,13% de todo o estado.

No entanto, a pecuária do estado apresenta alguns aspectos e pontos positivos, pois nota-se que é a principal atividade exercida na região, sendo uma força econômica para o desenvolvimento da comunidade local. Algumas informações da Agência de Defesa Sanitária Agrossilvopastoril do Estado de Rondônia (IDARON, 2014), notificam que Rondônia foi o oitavo maior produtor de carne bovina do país em 2008 e chegando a quinto maior produtor de carne bovina do país em 2013. Além disso, no ano de 2011 Rondônia foi responsável por ser o maior produtor de leite da Região Norte, produzindo em média 2,2 milhões de litros de

leite por dia, sendo que esses dados resultam em um crescimento econômico e incentivo de pessoas a exercer essa atividade.

Essa intensa atividade da pecuária pode influenciar nas condições climáticas da região, sendo que essa atividade antrópica tem relação com a substituição de áreas florestais por áreas de pastagens, e conseqüentemente pode acarretar na diminuição da evapotranspiração local e conseqüentemente influenciar significativamente na redução da precipitação da região (ROCHA; CORREIRA; FONSECA, 2015).

1.2 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

As águas que caem nos continentes têm três destinos: penetram no solo, escoam diretamente para os cursos de água ou evaporam-se. A parcela da água que percola no subsolo atravessa-o lentamente, alcançando os rios que a encaminham até aos mares. Sendo assim, é o chamado ciclo hidrológico, um “circuito fechado” em escala planetária, sustentando a vida e participando no seu ciclo biológico (BERTOLO, 2006).

A demanda por água doce está em um processo gradualmente em crescimento, devido ao grande desenvolvimento econômico e aumento populacional desordenado. Uma vez que esse recurso natural é finito, existe uma preocupação com o seu gerenciamento.

Uma gestão eficaz dos recursos hídricos é de grande relevância social e ambiental, visto que o seu desrespeito pode comprometer a sustentabilidade dos recursos naturais de uma bacia hidrográfica (LEIVAS et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2014). Neste contexto, devido à evapotranspiração representar um dos parâmetros essenciais para o ciclo hidrológico, é de suma importância melhorar o seu entendimento e monitoramento (CHRISTOFFERSEN; COUPE, 2014; SOUZA, 2011).

A água pode retornar à atmosfera através de dois processos naturais: por intermédio de evaporação e transpiração (JESUS; MATTOS; JESUS N., 2014; MENDONÇA; DANTAS, 2010). Sendo que segundo definição de Allen et al. (1998) a evaporação é o processo pelo qual a água é convertida da fase líquida para a fase de vapor (vaporização), removendo-a de superfícies como: oceanos, lagos, rios, pavimentos, solos e vegetação úmida (evaporação do orvalho e da chuva interceptada pela copa das árvores).

Por sua vez, a transpiração compreende a água transferida ou perdida pela vegetação para a atmosfera, a partir de pequenos orifícios (estômatos) da superfície das folhas.

O termo evapotranspiração foi proposto por Thornthwaite e Wilm (1944) para representar os dois processos supracitados. Segundo Costa (2014), a evapotranspiração é o

resultado da combinação da evaporação da água da superfície do solo, substrato ou planta e a transpiração, que embora distintos, são simultâneos.

Existem diferentes categorias de evapotranspiração que devem ser observadas, Pita (2011, p. 12) descreve sendo,

Evapotranspiração de Referência (ET_o): perda de água de uma extensa superfície cultivada com grama, com altura de 0,08 a 0,15 m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água.

Evapotranspiração Real (ET_r): perda de água por evaporação e transpiração nas condições reinantes (atmosféricas e de umidade do solo).

A evapotranspiração real dentro da Floresta Amazônica representa uma importante fonte de calor e de vapor de água para a atmosfera global, onde o calor latente liberado no processo de evapotranspiração influencia na condensação de nuvens convectivas tropicais na média e alta troposfera que contribui na manutenção e circulação atmosférica em escalas regional e global (DIRMEYER; BRUBAKER, 2007; SATYAMURTY; COSTA; MANZI, 2013).

Estima-se que 50% do vapor de água que se precipita em forma de chuva, seja proveniente do processo de evapotranspiração da própria vegetação, sendo assim, exercendo um papel importante no transporte vertical do vapor de água para a atmosfera e para a precipitação média anual (BORBA, 2003; LEOPOLDO; FRANKEN; NOVA, 1994).

Estudos climáticos indicam que as variações da temperatura do ar, no ciclo hidrológico e na circulação atmosférica poderão certamente ocasionar mudanças na evapotranspiração. Sendo que essas mudanças serão máximas na região central do Brasil e na região Amazônica de acordo com Cardoso e Justino (2013). Os autores supracitados concluem que se de fato isso ocorrer, será preocupante as alterações que ocorrerão no meio físico nas regiões com altos índices de evapotranspiração.

Diversos métodos são utilizados para a medição da evapotranspiração, sendo que atualmente o mais utilizado é o que aplica a técnica de correlação de vórtices turbulentos, também chamado de *eddy covariance* (PEREIRA; RODRIGUES, 2013). O procedimento é consolidado no meio científico há muitos anos, segundo Malhi et al. (1998) o método dos vórtices turbulentos já era reconhecido desde então, como o mais confiável para monitorar o comportamento dos fluxos de vapor de água e CO₂ em diferentes ecossistemas a curto, médio e longo prazo. Sendo que em ecossistemas quentes e úmidos, como é o caso da região Amazônica, o método também se destaca (GOMES, 2014).

O método consiste na medição dos turbilhões que se movem aleatoriamente, que surgem na interação da atmosfera com a superfície, nesses turbilhões são transportados, para níveis mais elevados, o vapor de água que os sensores em torres captam em alta frequência (ARRUDA, 2011).

Contudo, a utilização desse sistema é relativamente caro e demanda constante presença na área de coleta de dados e manutenção para obtenção de uma série contínua e confiável (PEREIRA; RODRIGUES, 2013). Diante desses aspectos, vale ressaltar a importância da busca de novas ferramentas para a obtenção de medidas desses fluxos, e uma delas seria a utilização de modelos empíricos que possam estimar esses fluxos com base em cálculos que subsidie quando necessário um monitoramento a baixo custo e com menor demanda de pessoas.

1.2.1 Métodos Empíricos

Estudos sobre estimativas de evapotranspiração têm-se desenvolvido muito rapidamente nos últimos anos em função do progresso na coleta de dados, uma vez que a própria informática serve como ferramenta útil para obtenção e manuseio de dados (CRUZ, 2005).

A estimativa da evapotranspiração é essencial no planejamento de irrigação, perdas de água de reservatório, previsões de escoamento superficial e em estudos meteorológicos e climatológicos (CLARKE; SILVA DIAS, 2002). Portanto, são criados métodos de estimativas que atendam às necessidades dos estudos.

Existem inúmeros métodos para a determinação da estimativa da evapotranspiração, porém, a escolha por um método específico depende de uma série de fatores, tais como: da disponibilidade de dados meteorológicos e da escala de tempo desejada (MUNIZ et al., 2014). Vale ressaltar também, que os métodos de estimativa de evapotranspiração, em geral, permitem a sua obtenção em escala local, que por sua vez pode dificultar a estimativa quando o objetivo é obter dados em escala regional (LIMA et al., 2014; MACHADO et al., 2014; MONTEIRO et al., 2014).

Dentre os mais difundidos e descritos na literatura, estão as equações de Thornthwaite (1948), Hargreaves-Samani (1985), Razão de Bowen e Penman-Monteith (1965) sendo que todos são bem aceitos dependendo das condições locais (NICÁCIO, 2008). Ressalta-se que por ter um bom desempenho em diferentes condições climáticas Penman-Monteith é o método padrão adotado pela FAO, conforme explicitado anteriormente.

Portanto, a escolha do método de estimativa, por muitas vezes, está relacionada com os dados disponíveis, sendo que métodos que utilizam elevado número de variáveis em seu cálculo dificultam a obtenção dos mesmos, visto que são comumente perceptíveis falhas no banco de dados quando se trata de dados relacionados ao clima.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área do estudo está localizada em dois sítios experimentais no estado de Rondônia, sendo que ambas apresentam características distintas, sendo uma composta por vegetação nativa (Reserva Biológica do Jaru) e a outra área apresenta cobertura vegetal composta basicamente por pastagem (Fazenda Nossa Senhora). Nestes locais estão instaladas e em funcionamento as torres meteorológicas vinculadas à rede de torres do Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (Programa LBA), onde foram coletados os dados analisados no presente estudo.

Segundo Santos et al. (2014) o estado de Rondônia apresenta uma média anual de umidade relativa do ar variando de 80% a 90% no verão, e em torno de 75%, no outono - inverno, e apresenta um clima quente, com temperatura média anual de 25° C (IBGE, 2014; WEBLER, 2007).

A região apresenta índices pluviométricos entre 1.400 a 2.600 mm/ano, os meses de junho a setembro correspondem ao período de menor precipitação. Apresenta uma evapotranspiração de referência alta durante todo o ano, apresentando valores superiores a 100 mm/mês (RONDÔNIA, 2012).

2.1.1 Reserva Biológica do Jaru

A Reserva Biológica do Jaru, também conhecida como Rebio Jaru, está localizada na região leste do estado de Rondônia, localizada nas coordenadas 10°11'11,4''S; 61°52'29,9''W, a aproximadamente 80 km de distância da cidade de Ji-Paraná (FIGURA 1). A reserva apresenta uma altitude de 120 metros acima do nível mar e está no perímetro de três municípios: Ji-Paraná, Machadinho d'Oeste e Vale do Anari, e tem partes dos limites de fronteira delimitadas por rios e igarapés importantes para o estado, como o rio Machado no oeste, Igarapé Água Azul ao sul, e Igarapé Buenos Aires ao norte (IBAMA, 2006).

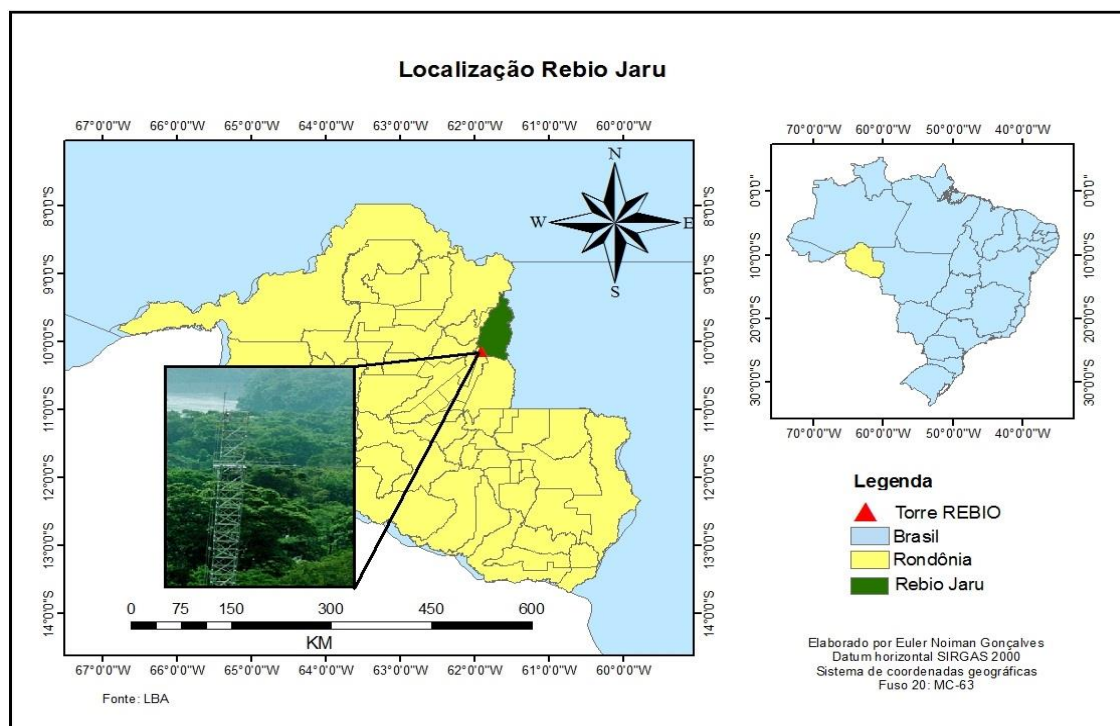


Figura 1 – Localização da Reserva Biológica do Jaru.

No dia 11 de julho do ano de 1979, após Decreto 83.716, a Rebio Jaru foi considerada uma unidade de conservação federal de proteção integral do bioma Amazônico, sobre a responsabilidade do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), sendo uma área muito importante para a manutenção da uma grande diversidade de invertebrados, aves, e da biota aquática presente, além de sua localização no "arco do desmatamento", apontando uma grande pressão antrópica em seus limites (MMA, 1998).

Sendo assim, as reservas biológicas como uma categoria de unidade de conservação do ICMBio apresentam como objetivo principal a proteção integral da biota e dos demais recursos naturais sem a interferência humana ou modificações ambientais, onde é extremamente resguardada, sendo aberta apenas para visitação pública em casos de educação ambiental ou pesquisas científicas relevantes para o meio ambiente (BRASIL, 2000).

A Rebio Jaru apresenta uma área total de aproximadamente 353.000 ha e está classificada, de acordo com Culf et al. (1997), como Floresta *Ombrofila Aberta*. O monitoramento pelo programa LBA vem ocorrendo desde 1999, sendo que a área é caracterizada por altos índices pluviométricos chegando a ter uma média anual entre 1400 a 2600 mm, e apresentando temperaturas médias anuais que variam entre 24 °C e 26 °C, podendo atingir temperaturas máximas de 33 °C e mínimas de 10 °C (ANDRADE, 2014).

2.1.2 Fazenda Nossa Senhora

O sítio experimental Fazenda Nossa Senhora (FNS) está localizado no município de Ouro Preto do Oeste (FIGURA 2), nas coordenadas geográficas 10° 0'45''S; 62°0'22''W.

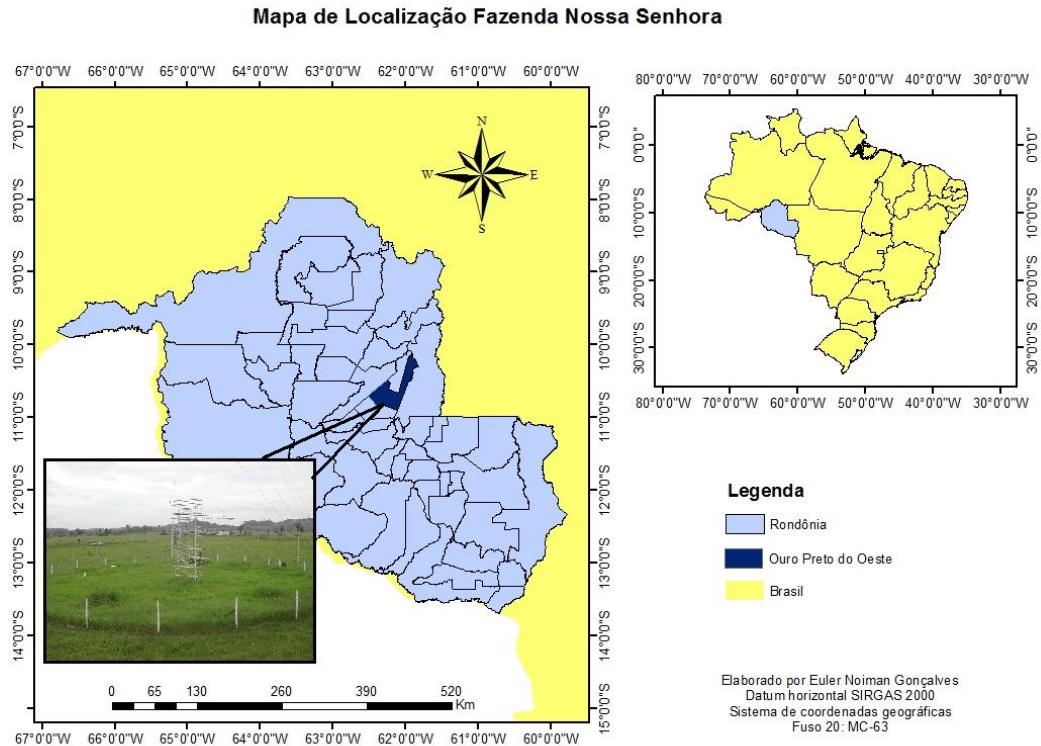


Figura 2 – Localização da Fazenda Nossa Senhora.

A região apresenta uma altitude de 293 m, e é uma região que tem suas estações bem definidas, e como na região da Rebio Jaru o período úmido é característico no primeiro trimestre do ano e o período seco no terceiro. Tendo como precipitação média anual 1627 mm (WEBLER, 2013).

A região apresenta predominância de pastagem e de acordo com Oliveira e Moraes (2012) a região é composta por pastagem (74%), enquanto o restante se refere a áreas de sucessão secundária (16%) e floresta *Ombrofila aberta* (10%). Portanto, é uma região que tem como vegetação predominante a gramínea da espécie *Brachiaria brizantha*.

2.2 DESCRIÇÃO DOS INSTRUMENTOS

Neste estudo foram utilizados os dados do ano 2010 coletados nas torres de monitoramento do programa LBA. Foram coletados dados de radiação solar líquida, fluxo de calor do solo, umidade relativa, temperatura do ar, pressão e velocidade do vento, sendo que outras variáveis foram derivadas dessas, sendo utilizadas posteriormente nas equações de estimativas de evapotranspiração.

Os sensores utilizados para medir as variáveis estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 - Informação das variáveis micrometeorológicas utilizadas no estudo.

Variável micrometeorológica	Unidade de medida	Instrumento	Altura do sensor	
			Rebio Jaru	FNS
Radiação solar líquida	W m ⁻²	Conjunto de saldo radiômetro Kipp&Zonen	58 m	6,5 m
Fluxo de calor do solo	W m ⁻²	Conjunto de saldo radiômetro Kipp&Zonen	58 m	6,5 m
Pressão	atm	Barômetro PTB100A Vaisala	61 m	8 m
Temperatura do ar	°C	Termohigrômetro Vaisala (HMP45D)	61 m	8 m
Umidade relativa	%	Termohigrômetro Vaisala (HMP45D)	61 m	8 m
Velocidade do vento	m s ⁻¹	Anemômetro Vector A100R	62,1	8m

A Figura 3 ilustra as torres com os sensores da Fazenda Nossa Senhora e da Rebio Jaru, evidenciando que a Fazenda Nossa Senhora é uma região com pastagem e a Rebio Jaru uma área florestada.

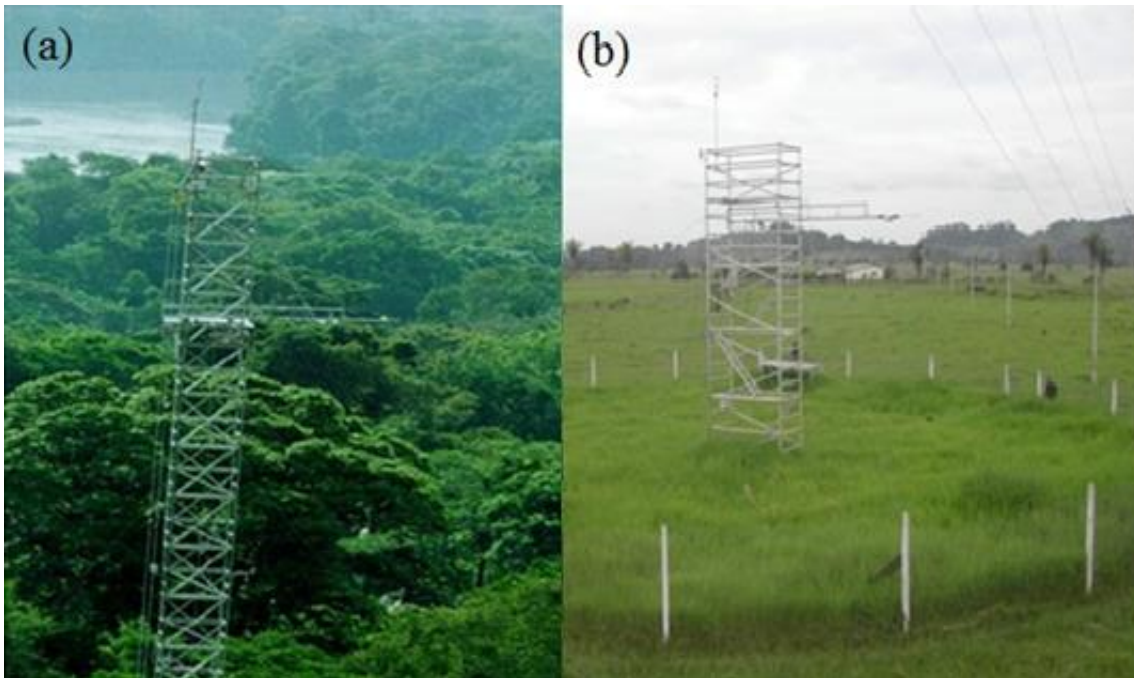


Figura 3 - Torres localizadas na Reserva Biológica do Jaru (a) e na Fazenda Nossa Senhora (b).

Os sensores que medem a radiação solar incidente, temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade do vento e precipitação estão conectados a um sistema de aquisição de dados (Datalogger CR10X, Campbell Scientific Instrument, Utah, USA) sendo que o sistema é programado para fazer uma leitura das medidas a cada 30 segundos e depois armazenar uma média a cada 10 minutos.

2.3 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A equação de Penman-Monteith, aplicada para o cálculo da evapotranspiração em mm d^{-1} , está descrita na Equação 1.

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

em que: Δ é a declividade da curva de pressão de vapor no ponto de temperatura média ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_n é a radiação solar líquida ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); γ é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); u_2 é a velocidade do vento média diária a 2 m de altura (m s^{-1}); e_s é a pressão de saturação do vapor médio diário (kPa); e_a é a pressão atual de vapor médio diário (kPa) e T_a é a temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$).

O modelo de Hargreaves-Samani (EQUAÇÃO 2) considera as variáveis latitude e

temperatura diária (média, mínima e máxima).

$$ET_o = a R_A TD^{0,5} (T_a + 17,8) \quad (2)$$

em que: a é o coeficiente adimensional, cujo valor proposto é 0,0023; R_A é a radiação solar extraterrestre incidente diária ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); TD é a variação de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no dia e T_a é a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$).

Pelo método de Priestley-Taylor a evapotranspiração foi obtida por meio da Equação 3.

$$ET_o = \frac{\alpha W (R_n - G)}{\lambda} \quad (3)$$

em que: α é o parâmetro de Priestley e Taylor; W é o fator de ponderação, que varia em função de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$); R_n é a radiação solar líquida ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) e λ é o calor latente de evaporação de água (MJ Kg^{-1}).

O fator de ponderação proposto por Priestley e Taylor foi calculado a partir da Equação 4.

$$W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \quad (4)$$

em que: Δ é a declividade da curva de pressão de vapor, obtida pela Equação (5), e γ é a constante psicrométrica, obtida pela Equação (6).

$$\Delta = \frac{4098 * e_s}{(T_{med} + 237,3)^2} \quad (5)$$

em que: e_s é a pressão de saturação de vapor (Kpa); e T_{med} é a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$).

$$\gamma = 0,664742 * 10^{-3} * Pa \quad (6)$$

em que: Pa é a pressão atmosférica local (atm).

O método de Camargo foi calculado pela Equação 7.

$$ET_o = K * R_a * T_{med} * ND \quad (7)$$

em que: K é o fator de ajuste; R_A é a radiação solar extraterrestre incidente acima da atmosfera, em mm dia^{-1} e; T_{med} é a temperatura média diária ($^{\circ}\text{C}$); ND é o número de dias do período observado. O fator de ajuste (K) varia com a temperatura média anual do local, conforme os limites estabelecidos na Tabela 2.

Tabela 2 - Valor de K em dependência à temperatura média anual (T_a).

T_a ($^{\circ}\text{C}$)	<23,5	23,6 a 24,5	24,6 a 25,5	25,6 a 26,5	26,6 a 27,5	> 27,5
Valor de K	0,01	0,0105	0,011	0,0115	0,012	0,013

Fonte: Camargo e Camargo (2000).

E por fim, o método de Jensen-Haise foi descrito a partir da Equação 8.

$$ET_o = R_s (0,025 * T_{med} + 0,08) \quad (8)$$

em que: R_s é a radiação solar global convertida em unidades de água evaporada (mm dia^{-1}); T_{med} é a temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$).

Para uma melhor visualização, no Quadro 1 encontra-se um do número de variáveis utilizadas para cada método de estimativa.

Quadro 1 - Variáveis utilizadas para calcular a evapotranspiração nos métodos empíricos.

Método Empírico	Variáveis utilizadas
Penman Monteith	Radiação solar líquida Fluxo de calor no solo Constante psicrométrica Velocidade do vento Pressão de saturação de vapor e Pressão atual Temperatura do ar Declividade da curva de pressão
Camargo	Radiação solar extraterrestre Temperatura do ar
Hargreaves-Samani	Radiação solar extraterrestre Temperatura do ar
Priestley-Taylor	Temperatura do ar Fluxo de calor no solo Declividade da curva de pressão de vapor Pressão local
Jensen-Haise	Radiação solar líquida Temperatura do ar

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

A base de dados micrometeorológicos foi processada e analisada por meio da estatística descritiva e inferencial, com o objetivo de observar a existência de diferenças significativas entre as médias de evapotranspiração, além de observar a variância dos dados.

Primeiramente foi aplicado o teste de pressuposto de normalidade de Shapiro-Wilk com nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), sendo que os dados que não atenderam ao pressuposto de normalidade foram submetidos ao teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Todas as análises foram conduzidas com nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) e os testes foram rodados no software Action® 2.5 em planilhas do software Excel®. Para uma melhor análise dos dados foram elaborados gráficos no software Sigma Plot 2001, versão Demo.

Para verificar o desempenho dos métodos de estimativas propostos foi utilizado o índice de concordância (d) proposto por Willmott, Ckleson e Davis (1985) e o coeficiente proposto por Camargo e Sentelhas (1997) além do erro médio quadrático (RMSE) e do erro médio absoluto (MAE).

O índice de concordância determina a exatidão da comparação e indica o grau de afastamento (TANAKA, 2013) sendo assim um bom indicativo de comparação entre o método padrão e os demais. Para determinar o índice de concordância foi descrita como visto na Equação 9.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (9)$$

em que: N é o número de elementos da amostra; P_i são os valores estimados pelas equação padrão; O_i são os valores medidos nas equações empíricas; O é a média dos valores encontrados nas equações empíricas.

Para o cálculo do coeficiente proposto de Camargo e Sentelhas (1997) foi necessário primeiramente determinar o coeficiente de correlação " r " (EQUAÇÃO 10) para que o coeficiente de correlação multiplicasse pelo índice de concordância, sendo que o resultado determinaria a característica da comparação (EQUAÇÃO 11).

O coeficiente de correlação é uma medida dos erros aleatórios de uma amostra, sendo um pressuposto se a relação entre o valor padrão e os estimados é linear (MALLER et al., 2013).

$$r = \frac{COV(E_i, M_i)}{\sigma E * \sigma M} \quad (10)$$

em que: $COV(E_i, M_i)$ é a covariância entre os pares de dados padrões e estimados; σE é o desvio padrão do valor padrão; σM é o desvio padrão dos métodos empíricos.

$$c = d * r \quad (11)$$

em que: c é o coeficiente de Camargo e Sentelhas; d é o índice de concordância e r é o coeficiente de correlação.

O valor encontrado vai variar entre 0 a 1, sendo 1 uma concordância perfeita e 0 para nenhuma concordância, na Tabela 3 estão descritas as relações entre o valor encontrado e a característica correspondente.

O coeficiente de Camargo e Sentelhas é muito utilizado quando se quer comparar métodos de estimativas, sendo que a classificação com base no índice "c" se dá dentro de um intervalo de classes menor que outros coeficientes, sendo capaz de classificar com maior distinção os métodos de estimativa, com uma maior eficiência (CUNHA et al, 2013).

Tabela 3 - Valores do coeficiente de Camargo e Sentelhas (1997) e sua classificação.

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

O erro médio quadrático (RMSE - *Root Mean Square Error*) é utilizado para mensurar o desempenho geral do modelo e sintetizar a diferença média entre os valores padrão e os estimados (SILVA, 2013).

O modelo é melhor ajustado quando o RMSE se aproxima de zero e sua unidade é a mesma das variáveis analisadas. O cálculo da RMSE foi realizado de acordo com a Equação 12, como descrito a seguir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2} \quad (12)$$

em que: N é o número total de elementos da amostra; P_i e O_i são os valores do modelo padrão e dos modelos estimados, respectivamente.

Por fim, foi calculado o erro absoluto médio (EQUAÇÃO 13) que é a média dos valores absolutos dos erros, sendo assim, traz informações a respeito da magnitude dos erros, somando todos os desvios em relação aos valores estimados (MALLER, 2013).

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |(y_i - x_i)| \quad (13)$$

em que: N é o número de elementos da amostra, y_i refere-se aos valores de evapotranspiração do modelo padrão e x_i aos valores da evapotranspiração referente às equações empíricas.

A utilização dos indicativos supracitados MAE, RMSE e o índice de ajustamento proposto por Willmott, Ckleson e Davis (1985) podem ser considerados uma alternativa adequada para validação de modelos estatísticos por permitirem a análise simultânea do desvio da média, identificando a ocorrência de sub ou superestimativa, espalhamento e ajustamento do modelo, em relação às medidas (SOUZA et al., 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISE DE FALHAS E COMPOSIÇÃO DO BANCO DE DADOS

Ao trabalhar com séries de dados extensas, pode-se observar ocorrência de incoerência ou anomalia dos dados, portanto existe a necessidade de um tratamento de filtragem dos mesmos para a retirada dessas anomalias. Portanto, todo sistema de monitoramento com conjuntos de dados climáticos exige a melhoria da qualidade dos dados, sendo assim na Tabela 4 são apresentados os valores mínimos e máximos que foram considerados como aceitáveis para o atual estudo. Esses limites são os mesmos utilizados pelo grupo do LBA de Manaus - AM, conforme detalhado em Aguiar (2013).

Tabela 4 - Informações dos valores mínimos e máximos considerados no estudo.

Variável Micrometeorológica	Valores mínimos	Valores Máximos	Unidade
Radiação solar líquida	-100	1000	W m ⁻²
Fluxo de calor do solo	-100	1000	W m ⁻²
Pressão atmosférica	900	1000	atm
Temperatura do ar	10	40	°C
Umidade relativa	0	103	%
Velocidade do vento	0	100	m s ⁻¹

As falhas nos dados, por muitas vezes, podem ser decorrentes de erros inerentes aos sensores, mas qualquer violação nas condições ambientais, erro humano nas medições ou mesmo falta de manutenção técnica são fatores que podem resultar em lacunas nos dados. O aproveitamento dos dados das variáveis utilizadas na Fazenda Nossa Senhora está descrito na Tabela 5.

Tabela 5- Aproveitamento dos dados (%) da Fazenda Nossa Senhora no ano de 2010.

Período	Radiação líquida	Temperatura do ar	Pressão	Velocidade do vento
Janeiro	83,3	90	0 *	0 *
Fevereiro	100	100	0 *	0 *
Março	96,7	100	0 *	0 *
Abril	0	0	36,6	0 *
Maió	89,9	87	100	0 *
Junho	100	100	100	73
Julho	70,9	70,9	70,9	70,9
Agosto	100	100	100	100
Setembro	25,8	32,8	32,8	32,8
Outubro	80,6	80,6	80,6	80,6
Novembro	86,6	86,6	86,6	86,6
Dezembro	83,8	0	83,8	83,8

Nota: * meses que necessitaram de preenchimento de falhas.

Os dados do ano de 2010, após filtragem das variáveis, apresentaram bom aproveitamento, a radiação líquida manteve uma média de 76%, mesmo não apresentando nenhum dado no mês de abril, que expôs grandes falhas em todas as variáveis estudadas, portanto, deduz-se que nesse mês os sensores da torre da Fazenda Nossa Senhora estavam com defeitos no armazenamento dos dados. A temperatura do ar, que exibiu um aproveitamento médio de 70,6% juntamente com a radiação líquida não necessitaram do preenchimento de falhas, pois esse foi considerado um bom valor para análise dos períodos

As variáveis que necessitaram de preenchimento de falhas foram a pressão atmosférica e a velocidade do vento, pois apresentaram aproveitamento anual de 57% e 44%, respectivamente, sendo que ambas as variáveis estavam presentes nos métodos empíricos para o cálculo da evapotranspiração de referência, e por muitas vezes elas constam nas equações como multiplicadores, fato que resultaria em um produto final igual a zero. O método para preenchimento dessas falhas foi o cálculo da média aritmética do ano para preencher os meses que não apresentava nenhum dado, e a média mensal para meses que apresentavam pelo menos 15 dias de dados.

Optou-se por esse método após análise do valor máximo e mínimo dos dois primeiros períodos, pois eram os períodos que necessitavam do preenchimento, como demonstrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Análise do valor máximo e mínimo das variáveis de pressão atmosférica (Pa) e velocidade do vento (u_2) nos dados da Fazenda Nossa Senhora no ano de 2010.

Período/ Variável	Valor máximo	Valor médio anual	Valor mínimo	ET máxima	ET média	ET mínima
1º trimestre/ u_2	3,1 ms ⁻¹	2,0 ms ⁻¹	0,25 ms ⁻¹	3,26	3,1	2,65
2º trimestre/ u_2	2,9 ms ⁻¹	2,0 ms ⁻¹	0,9 ms ⁻¹	3,74	3,46	3,37
1º trimestre/Pa	987 atm	964 atm	946 atm	3,2	3,2	3,1
2º trimestre/Pa	983 atm	964 atm	946 atm	3,5	3,48	3,46

Concluiu-se que a pressão atmosférica não teve influência na evapotranspiração, pois apresentou valores praticamente iguais no primeiro trimestre e no segundo trimestre do ano, entretanto, houve necessidade do preenchimento para que não houvessem valores zerados no resultado final. A velocidade do vento também não teve influência, pois percebe-se que no primeiro período utilizando o valor médio houve uma redução de evapotranspiração de 5% comparado com valor máximo e um aumento de 16% comparado com o valor mínimo, e no segundo período do estudo utilizando o valor médio houve uma redução de 8% e um aumento de 2%, respectivamente. Sendo assim, o valor médio da velocidade do vento é um dado empírico que se mostrou eficiente para a estimativa da evapotranspiração de referência nos dois períodos que necessitavam de preenchimento de falhas.

O outro local de estudo, a Rebio Jaru, apresentou melhor percentual de aproveitamento de dados comparado à Fazenda Nossa Senhora, como demonstrado a seguir na Tabela 7.

Tabela 7 -Aproveitamento dos dados (%) da Rebio Jaru no ano de 2010.

Período	Radiação líquida	Temperatura do ar	Pressão	Velocidade do vento
Janeiro	100	100	100	0 *
Fevereiro	96,4	60,7	96,4	0 *
Março	96,7	0	100	0 *
Abril	23,3	0	100	0 *
Maio	80,6	74,2	80,6	67,7
Junho	86,6	100	86,6	86,6
Julho	100	100	100	100
Agosto	100	100	100	100
Setembro	100	100	100	100
Outubro	96,7	100	96,7	96,7
Novembro	100	43,3	83,3	83,3
Dezembro	100	70,9	70,9	70,9

Nota: * meses que necessitaram de preenchimento de falhas.

Os dados da Rebio Jaru apresentaram um bom aproveitamento, com valor médio anual de 90% para a radiação líquida, 70% para a temperatura do ar e 92% para a pressão atmosférica, sem a necessidade de preenchimento de falhas nessas variáveis. Somente para a velocidade do vento, nos quatro primeiros meses, houve o preenchimento de falhas utilizando novamente a média dos valores anuais para adequar o banco de dados e não deixar uma lacuna de quatro meses sem dados de evapotranspiração.

Após o preenchimento das falhas, foi observado um aproveitamento de 245 dias do ano com dados de evapotranspiração de referência, estimada pelos métodos empíricos usados no estudo, aproximadamente um percentual de 70% de aproveitamento sendo um valor aceitável para realização das análises do ano de 2010.

3.2 ANÁLISE EXPLORÁTORIA DOS DADOS

Para melhor visualização e análise dos dados utilizados no estudo, foi construído um *box-plot* para verificar as estatísticas descritivas do banco de dados. Foram separados em quatro períodos (chuvoso, transição chuvoso-seco, seco e transição seco-chuvoso).

Segundo Borges Júnior et al. (2012) a região Amazônica possui um período chuvoso de janeiro a maio e um período menos chuvoso de setembro a dezembro, portanto, foram definidos o período chuvoso de janeiro a março, período de transição chuvoso-seco de abril a junho, período seco de julho a setembro e um período de transição seco-chuvoso de outubro a dezembro, para posteriormente averiguar a variação dos métodos em cada período. Os dados não apontaram normalidade segundo o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, portanto, houve

necessidade de aplicar a estatística não-paramétrica de Kruskal-Wallis para conferência de qual método se aproxima do método padrão de Penman-Monteith para cada período do ano.

Para melhor visualização da estatística descritiva dos dados, a Figura 4 apresenta o *box-plot* da Fazenda Nossa senhora.

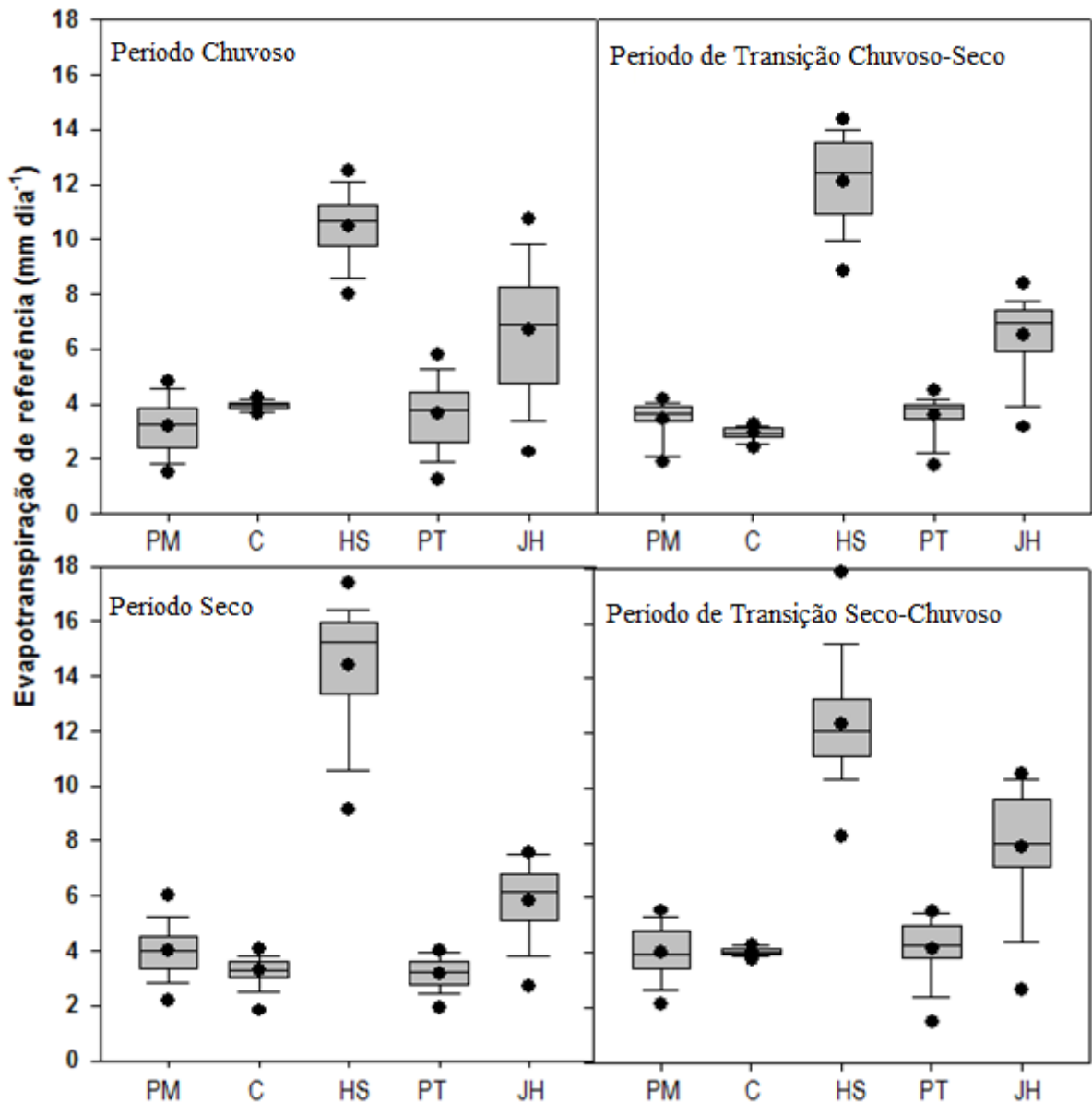


Figura 4 – *Box-plot* da Fazenda Nossa Senhora.

Inicialmente, por meio da visualização do *box-plot* da Fazenda Nossa Senhora foi apurado que ocorreram alguns valores discrepantes ou extremos, também chamados de "outliers", sendo eliminados, pois são valores que poderiam afetar diretamente nas comparações entre os métodos de forma adversa.

Na FNS foi perceptível uma variação sazonal entre os períodos, sendo que o período seco apresentou uma média maior pelo método padrão que o período chuvoso (4,0 e 3,26 mm

dia⁻¹) respectivamente, concordando com estudos como de Costa (2007) que diz que a evapotranspiração no período seco é maior devido a maior disponibilidade de radiação.

Entretanto, outros estudos relatam que a evapotranspiração é maior no período chuvoso, por exemplo, no estudo de Zhang et al. (2004), que aferiu que a evapotranspiração é diretamente proporcional à quantidade de água armazenada no solo.

O método de Camargo apresentou uma média anual de evapotranspiração de 3,55 mm dia⁻¹ e uma variabilidade mínima entre os valores, com valores mínimos de 1,5 mm dia⁻¹ e valores máximos de 4,8 mm dia⁻¹ na Fazenda Nossa Senhora, demonstrando uma acentuada simetria, pois o método tem como característica utilizar em seus cálculos a radiação extraterrestre, que por sua vez, varia minimamente durante o ano.

Outra observação notória é a superestimação do método de Hargreaves-Samani com uma média anual de aproximadamente 12 mm dia⁻¹. E uma variação elevada entre seus valores mínimos e máximos (6 e 18,6 mm dia⁻¹). Esse método apresenta como característica principal a utilização da variação diária da temperatura, que por sua vez, está relacionada ao grau de cobertura de nuvens no local.

Segundo Medeiros (2002), a diferença de temperatura máxima e mínima é um bom indicador da fração de radiação que alcança a superfície da Terra, sendo uma importante variável para o cálculo da evapotranspiração. Entretanto, como a região possuiu uma variação elevada de temperatura do ar durante o dia e a noite, o método não apresentou uma relação visualmente compatível com o método padrão de Penman-Monteith.

O método de Priestley-Taylor para o sítio da FNS apresentou valor médio de 3,78 mm dia⁻¹ e uma variação entre o valor mínimo e máximo de (0,4 e 6,5 mm dia⁻¹) e aparentemente uma boa relação com o método padrão de Penman-Monteith que apresentou valor médio de 3,7 mm dia⁻¹ e uma variação de 0,6 e 6,1 mm dia⁻¹ entre o valor mínimo e máximo.

O método de Jensen-Haise assim como o método de Hargreaves-Samani superestimou a evapotranspiração de referência, apresentando valor médio de 6,9 mm dia⁻¹ e uma variação de 1,6 e 13 mm dia⁻¹ entre o valor mínimo e máximo.

Em relação à assimetria do *box-plot*, percebe-se que os métodos de modo geral apresentaram uma assimetria negativa, pois os períodos chuvoso, seco e de transição chuvoso-seco apresentaram a mediana mais próxima do terceiro quartil, entretanto, no período de transição seco-chuvoso a assimetria foi positiva, pois a média ficou mais próxima do primeiro quartil.

A Figura 5 ilustra a estatística descritiva da Rebio Jaru em todos os períodos do ano.

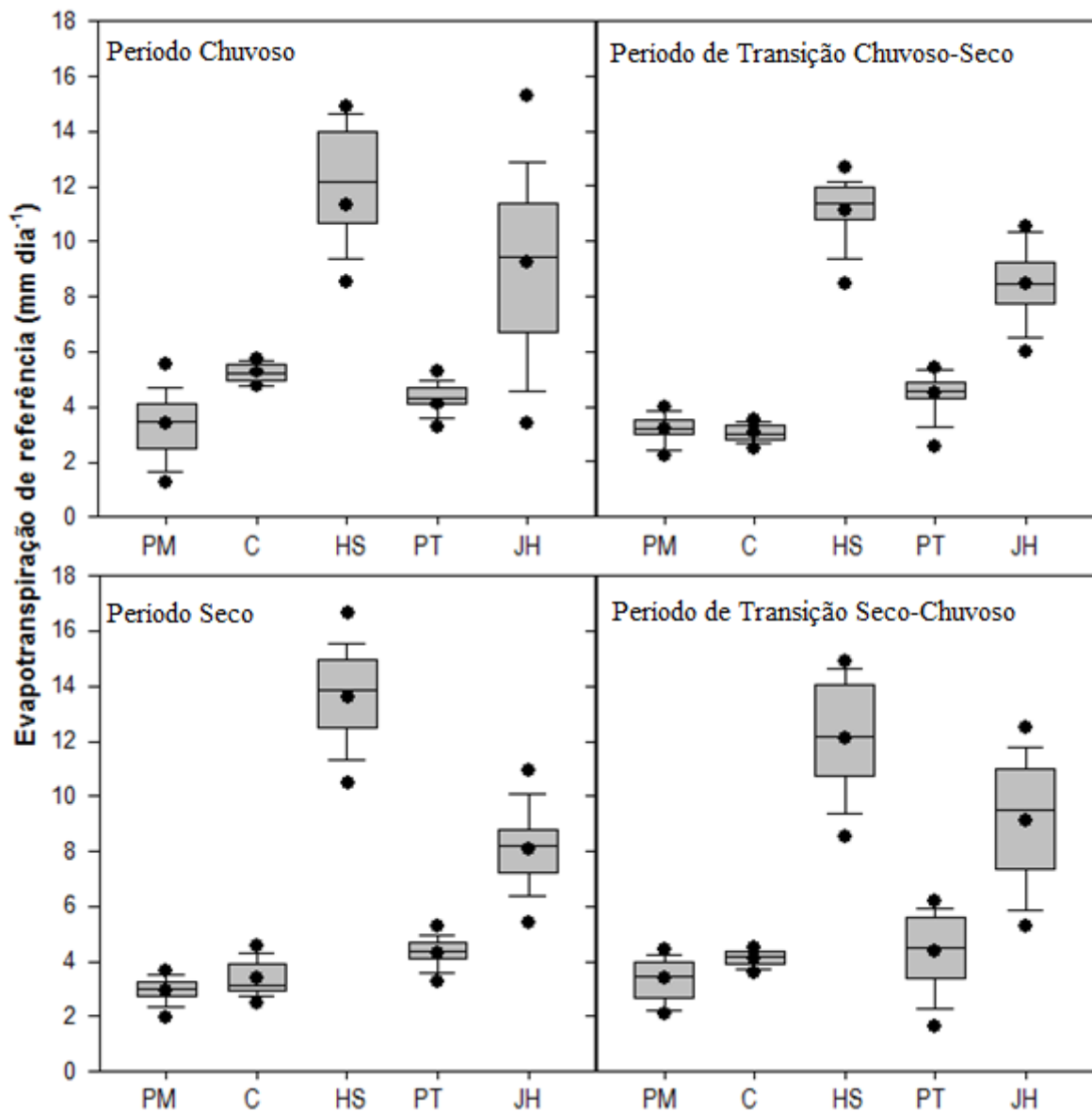


Figura 5 – Box-plot da Rebio Jaru.

Em contraponto aos dados da Fazenda Nossa Senhora, as médias de evapotranspiração calculadas pelos métodos empíricos foram maiores no período chuvoso do que no seco (3,37 e 2,95 mm dia⁻¹, respectivamente).

Na observação do *box-plot* da Rebio Jaru também nota-se alguns valores discrepantes, ou "outliers", onde foram eliminados para a realização das análises comparativas.

O método padrão de Penman-Monteith apresentou valor médio de 3,2 mm dia⁻¹ com valor mínimo e máximo de 0,9 e 5,5 mm dia⁻¹ respectivamente, sendo que o método de Priestley-Taylor apresentou um valor médio aproximado de 4 mm dia⁻¹ com valores mínimos de 0,8 mm dia⁻¹ e máximo de 7 mm dia⁻¹.

O método de Camargo apresentou valor médio de 3,9 mm dia⁻¹ com valor máximo de evapotranspiração de referência de 6,8 mm dia⁻¹ e valor mínimo de 1,7 mm dia⁻¹, mas de modo geral apresentou uma baixa variação diária.

O método de Hargreaves-Samani e Jensen-Haise apresentaram o mesmo comportamento descrito na Fazenda Nossa Senhora, pois também superestimaram a evapotranspiração de referência comparado ao método padrão, uma vez que apresentaram valores médios de 12,1 e 8,8 mm dia⁻¹ e valores mínimos (3,9 mm dia⁻¹ e 2,5 mm dia⁻¹, respectivamente) e valores máximos (17,2 mm dia⁻¹ e 16,4 mm dia⁻¹, respectivamente).

A mediana e a média mantiveram-se próximas em praticamente todos os métodos, e em relação à assimetria do *box-plot*, percebe-se que os métodos de Penman-Monteith, Camargo e Priestley-Taylor permaneceram mais simétricos, entretanto, os métodos de Hargreaves-Samani e Jensen-Haise variaram entre assimétrico negativo e positivo apresentando uma maior dispersão ao redor da mediana.

3.3 AVALIAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

Neste tópico, será discutido o comportamento das equações empíricas em relação à equação FAO-56 Penman-Monteith, procurando encontrar equações que melhor se ajustassem ao modelo de Penman-Monteith, e que apresentassem um número menor de variáveis, como é o caso de equações que necessitam somente da temperatura do ar ou da radiação extraterrestre.

A análise inicialmente se deu através da utilização da estatística não-paramétrica de Kruskal-Wallis, visto que os dados não apresentaram normalidade pelo método de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$), sendo assim, os valores das médias e os valores encontrados de Kruskal-Wallis estão descritos nas Tabelas 8 e 9, na Fazenda Nossa Senhora e Rebio Jaru, respectivamente.

Tabela 8 - Médias diárias da evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹) na Fazenda Nossa Senhora e o p-valor encontrado pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis.

Período	Média					N	P-valor
	PM	C	HS	PT	JH		
Chuvoso	3,266a	3,957a	10,696b	3,773a	6,932c	84	<0,01
Transição chuvoso-seco	3,610a	2,938b	12,447c	3,826a	6,952d	56	<0,01
Seco	3,989a	3,293b	15,275c	3,234a	6,125d	60	<0,01
Transição seco-chuvoso	3,971a	4,037a	12,104b	4,303a	8,002c	45	<0,01

Nota: PM - Penman Monteith; C - Camargo; HS - Hargreaves-Samani; PT - Priestley-Taylor; JH - Jensen-Haise; N - Número de dias.

Tabela 9 - Médias diárias da evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹) na Rebio Jaru e o p-valor encontrado pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis.

Período	Média					N	P-valor
	PM	C	HS	PT	JH		
Chuvoso	3,37a	5,214c	11,591b	4,203a	9,416b	48	<0,01
Transição chuvoso-seco	3,204a	2,986a	11,38b	4,568c	8,468d	45	<0,01
Seco	2,95a	3,462a	13,622b	4,349c	8,027d	92	<0,01
Transição seco-chuvoso	3,36c	4,193a	12,164b	4,521a	9,500b	58	<0,01

Nota: PM - Penman Monteith; C - Camargo; HS - Hargreaves-Samani; PT - Priestley-Taylor; JH - Jensen-Haise; N - Número de dias.

Em análise das Tabelas 8 e 9 nota-se que o p valor foi menor que 0,01 em todos os períodos nas duas localidades, entretanto, notou-se que alguns métodos não apresentaram diferença significativa entre eles, sendo assim, para uma análise mais eficiente foi analisado outros métodos estatísticos para garantir que o métodos estimados aproximavam de Penman-Monteith.

3.3.1 Período Chuvoso

A Figura 6 e a Figura 7 representam a variação da evapotranspiração de referência estimada pelos modelos avaliados para o período chuvoso do sítio da Fazenda Nossa Senhora e da Rebio Jaru, respectivamente, onde observa-se um comportamento semelhante entre os modelos de estimativas, com exceção do Método de Camargo que manteve-se praticamente linear entre os dias. Mas nota-se uma diferença entre os métodos de Hargreaves-Samani e

Jensen-Haise com os demais, apresentando uma superestimativa da evapotranspiração de referência.

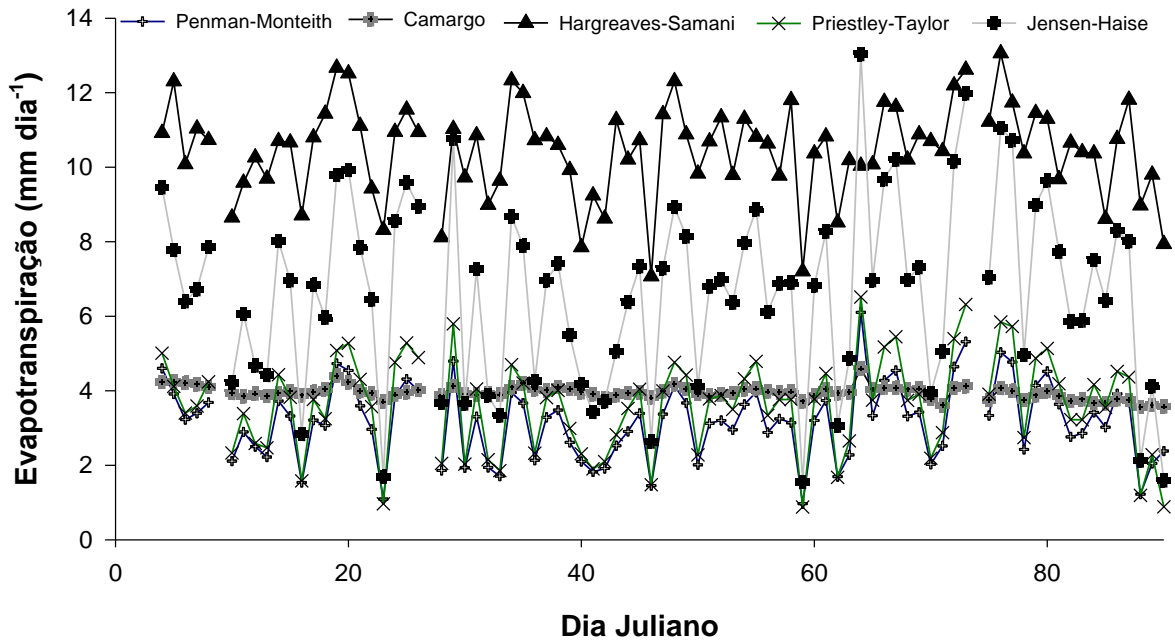


Figura 6 – Evapotranspiração de referência calculada por métodos empíricos no período chuvoso da Fazenda Nossa Senhora no ano de 2010.

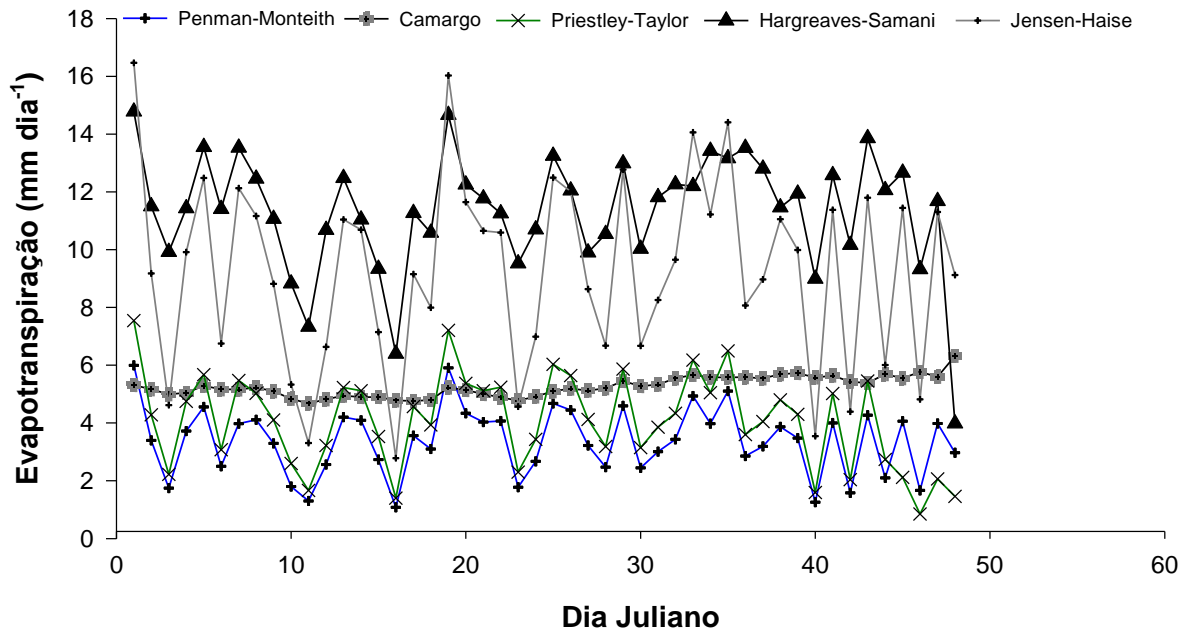


Figura 7 – Evapotranspiração de referência calculada por métodos empíricos no período chuvoso na Rebio Jaru no ano de 2010.

Observa-se nas Tabela 10 e 11, os resultados do desempenho do índice de concordância (d) proposto por Willmott, Ckleson e Davis (1985) e também o desempenho do

modelo proposto por Camargo e Sentelhas (1997), além da magnitude média dos erros através do erro médio quadrático e do erro absoluto médio.

Tabela 10 - Desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária no período chuvoso (janeiro-abril) para a Fazenda Nossa Senhora.

Métodos	r	d	c	Desempenho	RMSE	MAE
Camargo	0,65	0,98	0,64	Mediano	1,2	0,98
Hargreaves-Samani	0,77	0,71	0,54	Sofrível	7,33	7,28
Priestley-Taylor	0,98	0,99	0,97	Ótimo	0,57	0,11
Jensen-Haise	0,98	0,87	0,85	Ótimo	3,80	0,50

Nota: r é o coeficiente de correlação; d é o coeficiente de Willmott; c é o índice de Camargo e Sentelhas; RMSE é o erro médio quadrático e MAE é o erro absoluto médio

Tabela 11 - Desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária no período chuvoso (janeiro-abril) para a Rebio Jaru.

Métodos	r	d	c	Desempenho	RMSE	MAE
Camargo	0,17	0,95	0,16	Péssimo	2,2	1,93
Hargreaves-Samani	0,74	0,70	0,51	Sofrível	8,08	7,96
Priestley-Taylor	0,89	0,99	0,89	Ótimo	1,02	0,96
Jensen-Haise	0,99	0,77	0,77	Muito Bom	6,24	5,88

Nota: r é o coeficiente de correlação; d é o coeficiente de Willmott; c é o índice de Camargo e Sentelhas; RMSE é o erro médio quadrático e MAE é o erro absoluto médio.

Dentre os métodos avaliados para o período chuvoso o que apresentou os melhores resultados foi o método de Priestley- Taylor, com um erro médio quadrático de 0,57 na FNS e 1,02 mm dia⁻¹ na Rebio Jaru e um erro médio absoluto abaixo de 1 mm dia⁻¹ e apresentou uma classificação ótima para ambas as localidades. Outros autores também encontraram o método de Priestley-Taylor como o mais aproximado de Penman-Monteith, como por exemplo: Alencar et al. (2011), Tagliaferre et al. (2010) em outras regiões do país e Feitosa (2011) para a região Amazônica.

O método de Jensen-Haise exibiu classificação ótima para FNS e muito boa para a Rebio Jaru, entretanto, indica-se que não utilizem esse método para estimativa, pois o erro médio quadrático e o erro absoluto médio foram elevados. Mesmo ele apresentando um comportamento parecido com o método padrão, ele o superestimou, não sendo compatível com o período da região do estudo.

Nas duas localidades, o método de Camargo não apresentou bom desempenho, mesmo com um RMSE e MAE razoável. O método que apresentou pior classificação foi o método de Hargreaves-Samani, pois ele superestimou a evapotranspiração e denotou erros médios quadráticos elevados. De acordo com Tagliaferre et al. (2012), os métodos que se baseiam na variação da temperatura do ar, caso de Hargreaves-Samani, tendem a superestimar a evapotranspiração em climas úmidos, como é o caso da região de estudo.

Vários outros estudos também encontraram uma relação sofrível entre o método padrão de Penman-Monteith com o método de Hargreaves-Samani, como por exemplo: Curi, Radunz e Shoffel (2011), Rodrigues (2013), Tanaka (2013) em outras regiões do país, e Fernandes et al. (2011), Ferraz (2008) entre outros trabalhos na região Amazônica.

3.3.2 Período de Transição Chuvoso-Seco

O período entre abril a junho é considerado como o período de transição entre o período chuvoso e o seco, as Figuras 8 e 9 compõe o comportamento da média de evapotranspiração de referência nesse período de três meses, sendo que a Fazenda Nossa Senhora apresentou falhas no mês de abril, portanto, o período apresentou somente dois meses de dados.

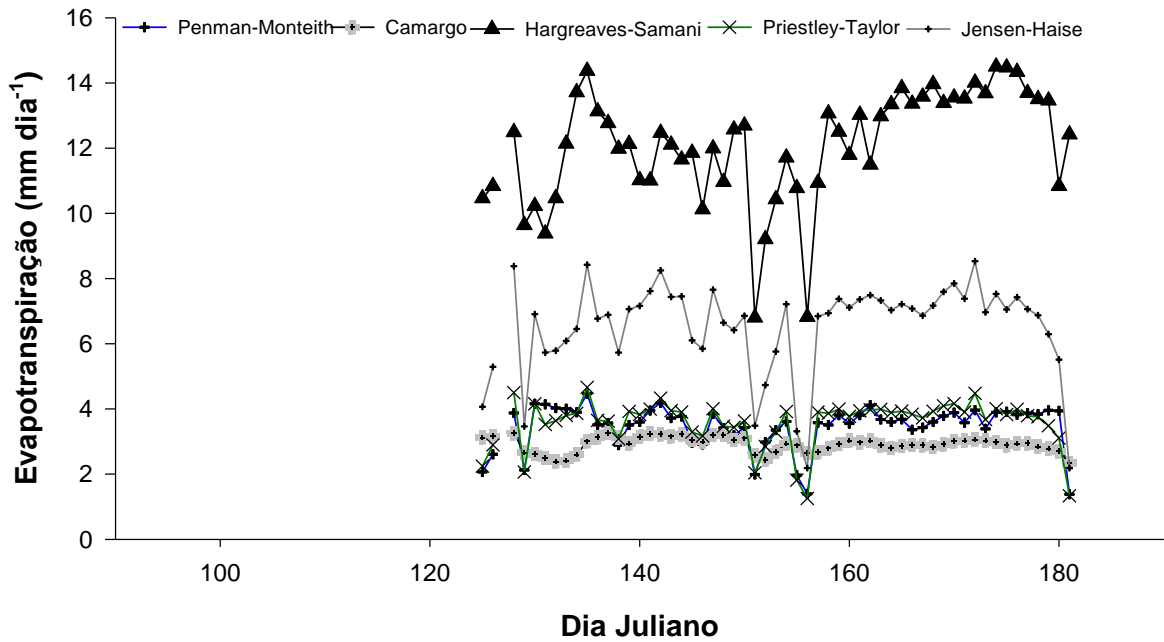


Figura 8 – Evapotranspiração de referência calculada por métodos empíricos no período de transição chuvoso-seco da Fazenda Nossa Senhora no ano de 2010.

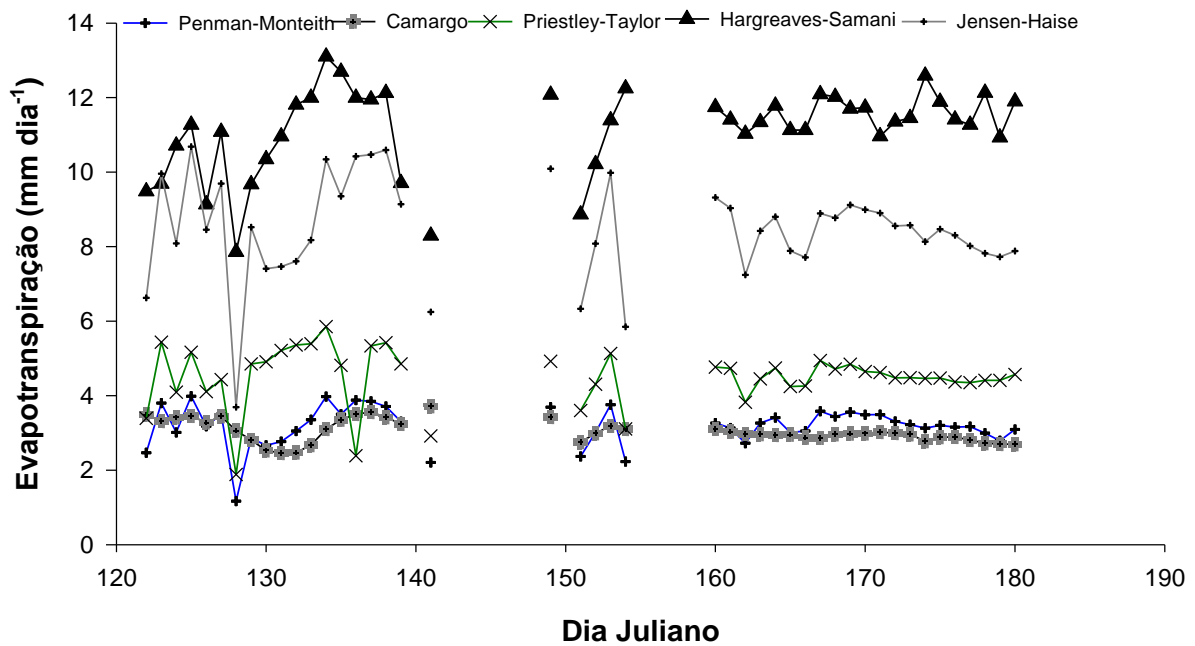


Figura 9 – Evapotranspiração de referência calculada por métodos empíricos no período transição chuvoso-seco da Rebio Jaru no ano de 2010.

Percebe-se, através da análise das Figuras 8 e 9, que os métodos de Camargo e Priestley-Taylor tiveram um comportamento similar ao de Penman-Monteith, e novamente o método de Jensen-Haise e Hargreaves-Samani superestimaram acentuadamente a evapotranspiração.

Nas Tabelas 12 e 13 foram descritos os valores do desempenho e os erros médios desse período, sendo que foi perceptível que realmente o método de Priestley-Taylor foi o mais adequado para substituir, caso necessário, a estimativa de evapotranspiração de referência por apresentar um RMSE de 0,28 mm dia⁻¹ e um MAE de 0,23 mm dia⁻¹. Entretanto, no sítio da Rebio Jaru, o método não apresentou um bom desempenho, sendo que talvez outro método que não foi abordado neste estudo se adapte melhor. O método de Jensen-Haise apresentou um ótimo desempenho, mas por apresentar um RMSE de 3,18 mm dia⁻¹ e um MAE de 3,05 mm dia⁻¹, considerados valores elevados para a estimativa da evapotranspiração de referência.

Tabela 12 - Desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária no período de transição chuvoso-seco (abril-junho) para a Fazenda Nossa Senhora.

Métodos	r	d	C	Desempenho	RMSE	MAE
Camargo	0,20	0,99	0,20	Péssimo	0,86	0,78
Hargreaves-Samani	0,54	0,68	0,37	Péssimo	8,75	8,62
Priestley-Taylor	0,93	0,99	0,92	Ótimo	0,28	0,23
Jensen-Haise	0,88	0,90	0,79	Muito Bom	3,18	3,05

Nota: r é o coeficiente de correlação; d é o coeficiente de Willmott; c é o índice de Camargo e Sentelhas; RMSE é o erro médio quadrático e MAE é o erro absoluto médio.

Tabela 13 - Desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária no período de transição chuvoso-seco (abril-junho) para a Rebio Jaru.

Métodos	r	d	c	Desempenho	RMSE	MAE
Camargo	0,25	0,99	0,25	Péssimo	0,55	0,41
Hargreaves-Samani	0,63	0,68	0,43	Mau	8,02	7,97
Priestley-Taylor	0,68	0,97	0,66	Bom	1,42	1,37
Jensen-Haise	0,96	0,78	0,76	Muito Bom	5,33	5,26

Nota: r é o coeficiente de correlação; d é o coeficiente de Willmott; c é o índice de Camargo e Sentelhas; RMSE é o erro médio quadrático e MAE é o erro absoluto médio.

3.3.3 Período Seco

O período seco composto por meses de julho a setembro exibiu um bom aproveitamento de dados. Em análise das Figuras 10 e 11 que apresentam a evapotranspiração de referência calculada pelos métodos empíricos para os dois sítios, percebe-se um comportamento parecido em todos os métodos do estudo.

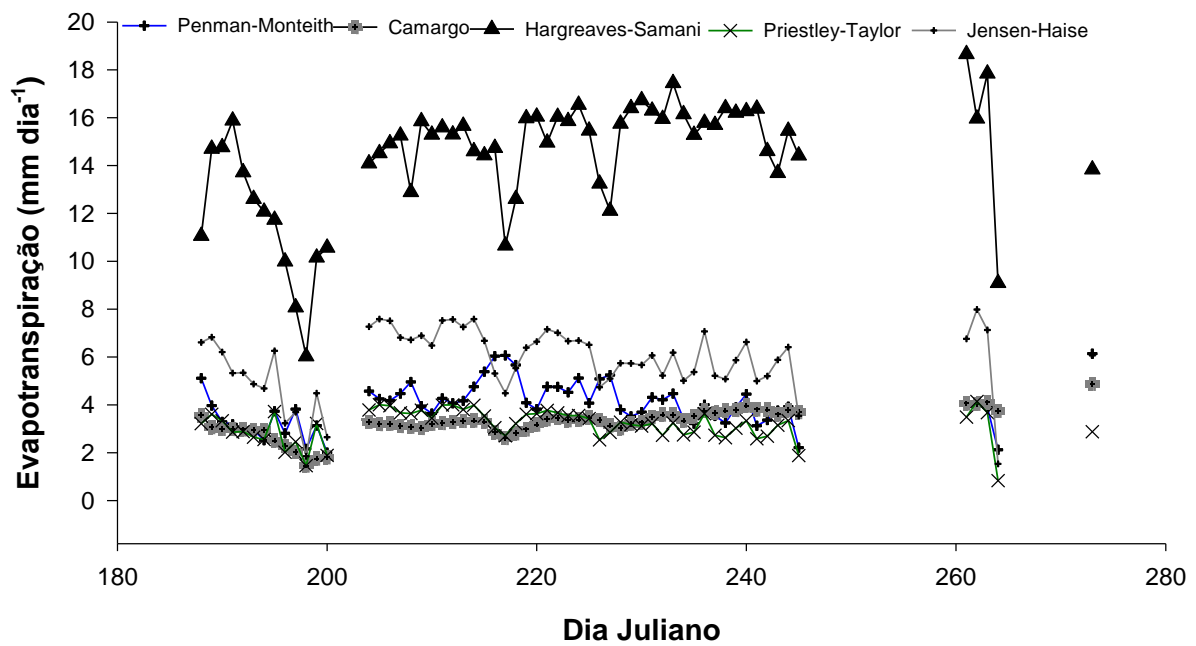


Figura 10 – Evapotranspiração de referência calculada por métodos empíricos no período seco na Fazenda Nossa Senhora no ano de 2010.

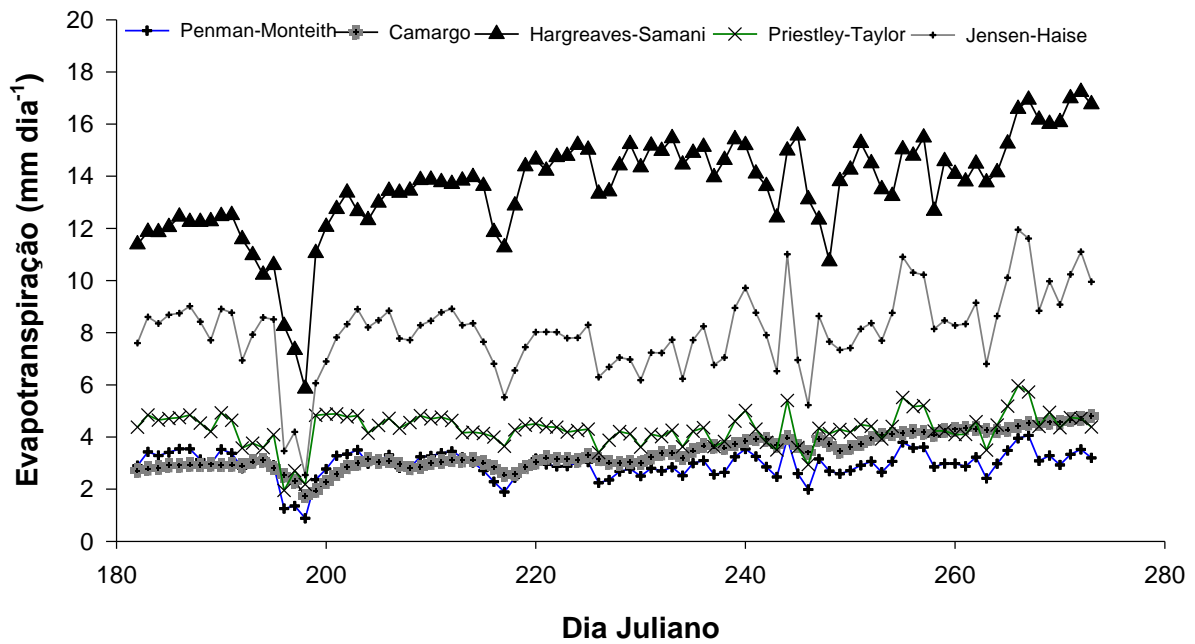


Figura 11 – Evapotranspiração de referência calculada por métodos empíricos no período seco na Rebio Jaru no ano de 2010.

É visível uma falha no período entre os dias 240 a 260 para a FNS, mas em geral, o aproveitamento do período seco foi o melhor comparado aos demais. Outra observação é que a evapotranspiração com o decorrer dos dias não apresentou tanta variação em comparação ao período chuvoso, mantendo assim um valor mais constante.

Através do RMSE e do MAE foi definido o melhor método de estimativa para o período seco, como descrito na Tabela 14 e na Tabela 15.

Tabela 14 - Desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária no período seco (julho-setembro) para a Fazenda Nossa Senhora.

Métodos	r	d	c	Desempenho	RMSE	MAE
Camargo	0,276	0,98	0,27	Péssimo	1,21	0,93
Hargreaves-Samani	0,212	0,67	0,14	Péssimo	10,68	10,40
Priestley-Taylor	0,52	0,98	0,51	Sofrível	1,17	0,85
Jensen-Haise	0,53	0,96	0,53	Sofrível	2,18	1,97

Nota: r é o coeficiente de correlação; d é o coeficiente de Willmott; c é o índice de Camargo e Sentelhas; RMSE é o erro médio quadrático e MAE é o erro absoluto médio.

Tabela 15 - Desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária no período seco (julho-setembro) para a Rebio Jaru.

Métodos	r	d	c	Desempenho	RMSE	MAE
Camargo	0,43	0,99	0,43	Mau	0,78	0,63
Hargreaves-Samani	0,56	0,58	0,33	Péssimo	10,78	10,64
Priestley-Taylor	0,89	0,94	0,85	Muito Bom	1,38	1,35
Jensen-Haise	0,94	0,78	0,74	Bom	5,2	5,1

Nota: r é o coeficiente de correlação; d é o coeficiente de Willmott; c é o índice de Camargo e Sentelhas; RMSE é o erro médio quadrático e MAE é o erro absoluto médio.

As análises segundo o erro médio quadrático, o erro absoluto médio e o método proposto por Willmott, revelaram que mesmo que visualmente alguns métodos apresentam um comportamento parecido, nenhum deles para a Fazenda Nossa Senhora no período seco apresentou uma boa relação com o método padrão, pois apresentaram um desempenho péssimo ou sofrível. O único método que melhor se adaptou foi o Priestley-Taylor na Rebio Jaru que evidenciou um RMSE de 1,38 mm dia⁻¹ e um MAE de 1,35 mm dia⁻¹ e apresentou um desempenho muito bom.

Resultados parecidos foram encontrados por Reis et al. (2007) que realizou um estudo no estado do Espírito Santo no período da seca, e obteve resultados péssimo para os métodos de Hargreaves-Samani e resultados melhores para Priestley-Taylor. E Neves, Silva e Crestana (2005) encontraram uma péssima relação entre Hargreaves-Samani e o método padrão de Penman-Monteith, pois o método de Hargreaves-Samani superestimava em todos os períodos a evapotranspiração.

3.3.4 Período Transição Seco-Chuvoso

O final do ano foi o período com maior número de falhas tanto na Rebio Jaru, quanto na Fazenda Nossa Senhora. Entretanto foi encontrada a melhor relação do método de Penman-Monteith com Priestley-Taylor, sendo esse eficaz na estimativa. As Figuras 12 e 13 mostram o comportamento dos métodos que visualmente parecem satisfatórios.

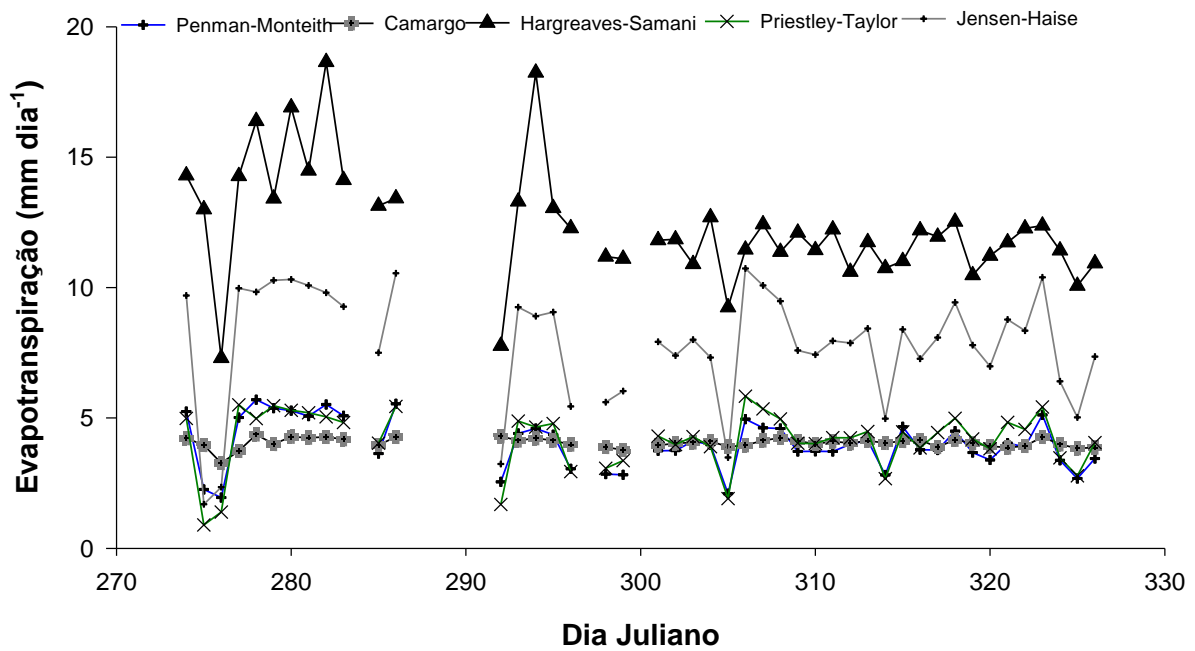


Figura 12 – Evapotranspiração de referência calculada por métodos empíricos no período de transição seco-chuvoso (outubro-dezembro) na Fazenda Nossa Senhora no ano de 2010.

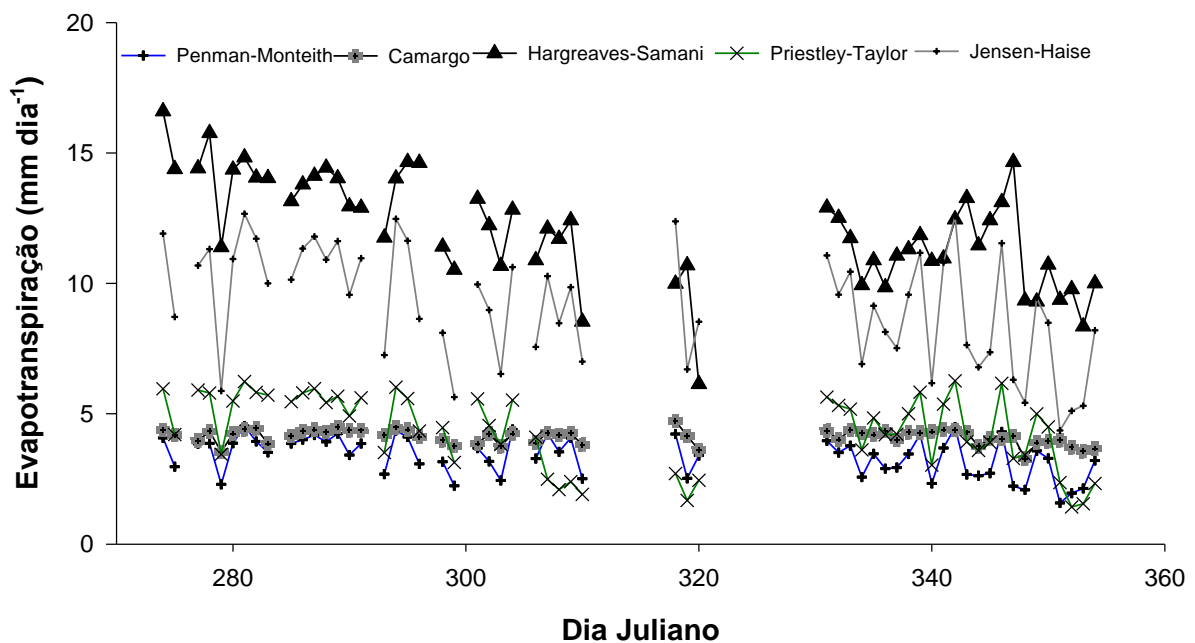


Figura 13 – Evapotranspiração de referência calculada por métodos empíricos no período de transição seco-chuvoso (outubro-dezembro) na Rebio Jaru no ano de 2010.

Ao analisar o RMSE e o MAE (TABELAS 16 e 17) pode-se perceber que a relação entre o método padrão e Priestley-Taylor foi ótima na Fazenda Nossa Senhora, com um erro

médio quadrático de 0,22 mm dia⁻¹ e um erro absoluto de 0,39 mm dia⁻¹ sendo considerado o método mais adequado para estimar a evapotranspiração nos últimos três meses do ano.

O método de Priestley-Taylor na Rebio Jaru apresentou um desempenho classificado como bom, e um RMSE de 1,43mm dia⁻¹ e um erro absoluto médio de 1,38mm dia⁻¹, valores esse considerados aceitáveis, entretanto, outro método que não foi utilizado nesse estudo possa apresentar melhores resultados que o Priestley-Taylor.

O método de Camargo apresentou melhor RMSE 0,97 mm dia⁻¹ e erro absoluto médio de 0,78 mm dia⁻¹ do que comparado aos demais métodos, entretanto, apresentou um desempenho de Camargo e Sentelhas como mediano, resultado esse devido que o método de Camargo apresentou valores com pouca variação diária de evapotranspiração de referência, enquanto que no método padrão ocorre maior variação durante os dias. Os demais métodos utilizados no estudo apresentaram resultados elevados e devem ser descartados para uma estimativa futura.

Tabela 16 - Desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária no período de transição seco-chuvoso (outubro-dezembro) para a Fazenda Nossa Senhora.

Métodos	r	d	c	Desempenho	RMSE	MAE
Camargo	0,62	0,99	0,62	Mediano	0,85	0,69
Hargreaves-Samani	0,71	0,73	0,52	Sofrível	8,48	8,32
Priestley-Taylor	0,91	0,99	0,91	Ótimo	0,22	0,39
Jensen-Haise	0,94	0,89	0,84	Muito Bom	4,02	3,82

Nota: r é o coeficiente de correlação; d é o coeficiente de Willmott; c é o índice de Camargo e Sentelhas; RMSE é o erro médio quadrático e MAE é o erro absoluto médio.

Tabela 17 - Desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária no período de transição seco-chuvoso (outubro-dezembro) para a Rebio Jaru.

Métodos	r	d	c	Desempenho	RMSE	MAE
Camargo	0,61	0,99	0,61	Mediano	0,97	0,78
Hargreaves-Samani	0,52	0,67	0,35	Péssimo	8,9	8,7
Priestley-Taylor	0,70	0,98	0,70	Bom	1,43	1,38
Jensen-Haise	0,96	0,78	0,75	Bom	5,95	5,77

Nota: r é o coeficiente de correlação; d é o coeficiente de Willmott; c é o índice de Camargo e Sentelhas; RMSE é o erro médio quadrático e MAE é o erro absoluto médio.

São encontrados diversos estudos comparando os métodos de estimativa de evapotranspiração na literatura, entretanto, os resultados variam de região para região, pois cada uma tem sua peculiaridade e suas características climáticas, portanto, existe também uma dificuldade na escolha dos métodos que se encaixem no perfil da região, como também a dificuldade na escolha do método de acordo com o período do ano.

Após todas as análises de todos os períodos percebe-se que o Priestley-Taylor foi o método mais próximo do método padrão de Penman-Monteith, uma vez que os coeficientes utilizados foram mais próximos de zero e apresentaram melhor desempenho de acordo com a classificação de Willmott. Sendo esse um bom método, pois apresenta menor número de variáveis para a estimativa da evapotranspiração de referência.

3.4 ANÁLISE COMPARATIVA DOS SÍTIOS

Neste tópico, foi discutida a análise comparativa entre os sítios, análise realizada após a filtragem dos dados, pois a comparação somente pôde ser realizada após verificação dos dias que continha dados em ambos os locais, totalizando 150 dias de dados durante o ano.

A Figura 14 demonstra o comportamento da evapotranspiração de referência em ambos os locais, dando ênfase na maior evapotranspiração na área de floresta comparado a área de pastagem.

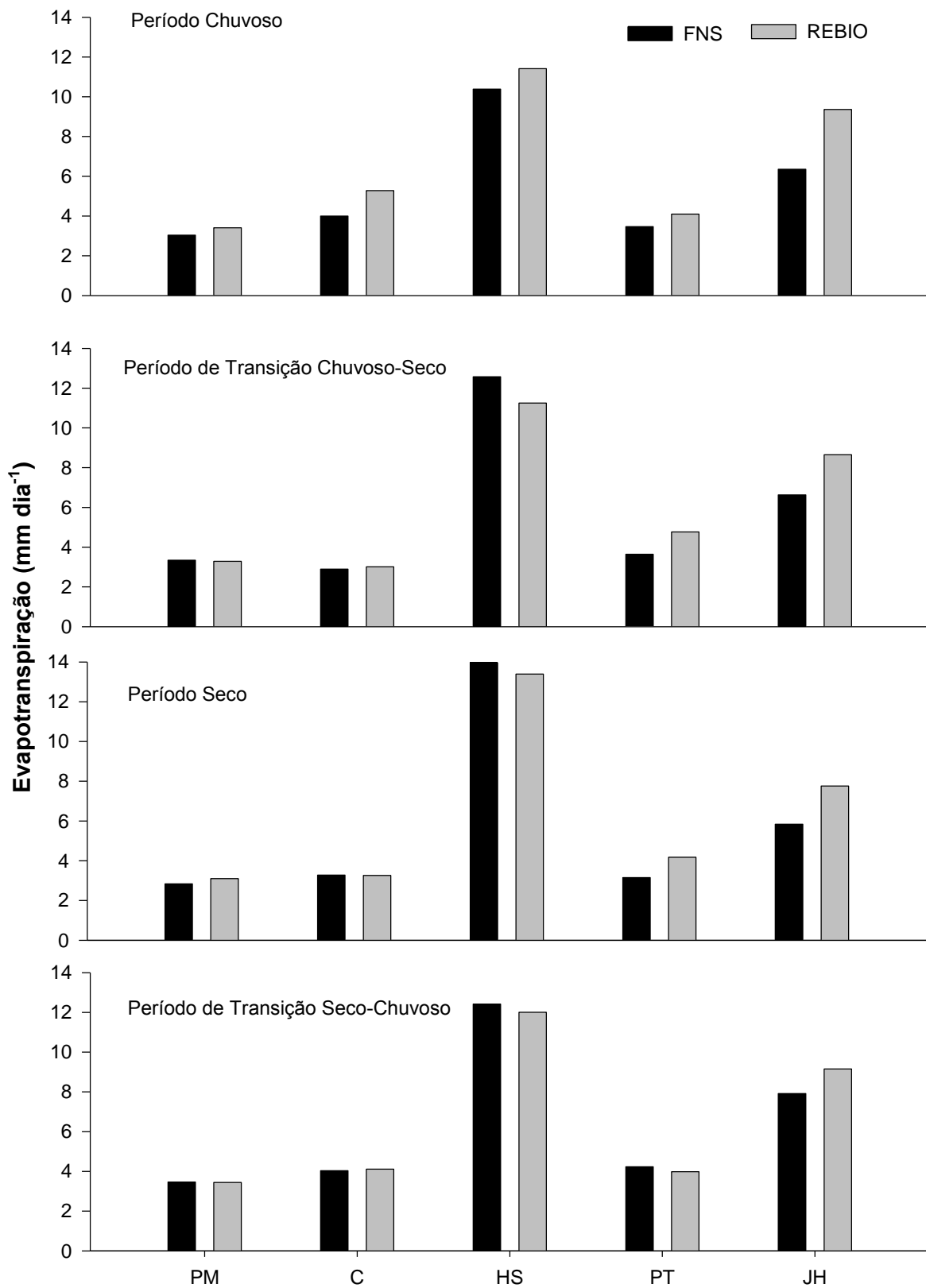


Figura 14 – Evapotranspiração de referência média ao longo do ano de 2010 em uma área de floresta (Rebio Jarú) comparada com uma área de pastagem (Fazenda Nossa Senhora).

Como observado, a evapotranspiração de referência estimada pelo método padrão de Penman-Monteith em todos os períodos, com exceção do seco, permaneceu com uma média aproximada de 3,4 mm dia⁻¹ na área de floresta e de 3,3 mm dia⁻¹ na área de pastagem, resultados parecidos com os de Rocha, Manzi e Shuttleworth (2009) que encontraram na Rebio Jaru uma média de evapotranspiração real de 3 mm dia⁻¹ com uma variação mínima durante o ano.

No período de seca a evapotranspiração média na área de floresta foi de 3,0 mm dia⁻¹ e na área de pastagem de 2,85 mm dia⁻¹ pelo método padrão de Penman-Monteith, sendo que as áreas de florestas tendem a apresentar uma maior evapotranspiração por terem uma vegetação arbórea capaz de absorver água de regiões mais profundas através de suas raízes longas, portanto, obtêm uma taxa de transpiração maior comparada as gramíneas (BIUDES et al., 2009).

Além disso, a área de floresta apresenta uma rugosidade maior que pode proporcionar uma maior troca de água entre a superfície e a atmosfera (BETTS; SANDERSON; WOODWARD, 2008).

O modelo de Hargreaves-Samani apresentou valores médios superiores de evapotranspiração para a FNS se comparado ao da Rebio Jaru (14mm dia⁻¹ e 13,2 mm dia⁻¹, respectivamente), pois houve uma maior variação da temperatura na FNS no período da seca, dessa forma o método apresentou esse comportamento e não seguiu o padrão dos outros métodos.

O modelo de Camargo apresentou maiores valores de evapotranspiração de referência na Rebio Jaru comparado à Fazenda Nossa Senhora em todos os períodos do ano, com um valor médio de 3,5 mm dia⁻¹ na Fazenda Nossa Senhora e 3,8 mm dia⁻¹ na Rebio Jaru.

O modelo de Priestley-Taylor apresentou uma singularidade, pois apresentou no período de transição seco-chuvoso uma maior evapotranspiração de referência para a Fazenda Nossa Senhora 4,2 mm dia⁻¹ e 3,9 mm dia⁻¹ para a Rebio Jaru, e nos demais períodos a Rebio Jaru apresentou valores superiores, inclusive no período seco onde apresentou 4,1 mm dia⁻¹ na Rebio Jaru e 3,1 mm dia⁻¹ na Fazenda Nossa Senhora, ou seja, foi 25% superior.

Jensen-Haise apresentou um valor médio de 6,6 mm dia⁻¹ na Fazenda Nossa Senhora e foi 24% superior na Rebio Jaru (8,6 mm dia⁻¹). Estudos na região utilizando o sensor MODIS16 como meio metodológico encontraram uma evapotranspiração na Rebio Jaru maior comparando com a FNS, pois na Rebio Jaru apresentou valores variando de 3,41 - 4,13 mm d⁻¹ e para a Fazenda Nossa Senhora variando de 2,82 - 3,69 mm d⁻¹ (BRITO, 2015).

A transformação de floresta para pastagem pode acarretar uma redução da evapotranspiração de referência e conseqüentemente na evapotranspiração real da região. Sendo que a redução da evapotranspiração acarreta uma camada limite mais seca, reduzindo assim, a disponibilidade de energia para convecção e precipitação (SANTOS et al.,2014; VICTORIA,2004) e aumenta a energia disponível na forma de calor sensível (BIUDES et al., 2012).

Em contrapartida, pode-se encontrar estudos como de Zhang, Dawes e Walker (2001) e de Lima (2011) que indicam que o comportamento da evapotranspiração não é estaticamente diferente comparados a distintas coberturas vegetais. Sendo assim, os autores defendem que o balanço hídrico não seja governado fortemente pela cobertura vegetal e sim fortemente influenciado pelas condições climáticas do local.

Apesar de estudos indicarem que o clima é o principal fator para a demanda atmosférica, é necessário o entendimento da dinâmica da evapotranspiração, pois a mudança da rugosidade superficial da Amazônia causa alterações nas trocas superfície-atmosfera (CHRISTOFFERSEN; COUPE, 2014). Criando expectativa de melhor conhecimento das conseqüências do desmatamento nas trocas turbulentas entre a atmosfera e a superfície.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados indicam que:

- a) os índices utilizados para avaliar os métodos empíricos apresentaram melhores desempenhos para o método de Priestley-Taylor quando comparado ao método padrão de Penman-Monteith;
- b) propõe-se a seguinte ordem para a utilização da evapotranspiração de referência em função de uma boa disponibilidade de dados na região: 1º FAO56 Penman-Monteith, 2º Priestley-Taylor, 3º Camargo. Sendo que os métodos de Jensen-Haise e o método de Hargreaves-Samani não são indicados devido ao desempenho ruim encontrados nas análises;
- c) ao longo de todos os períodos do ano (chuvoso, transição chuvoso-seco, seco e transição seco-chuvoso) o método de Priestley-Taylor apresentou um desempenho melhor de acordo com o coeficiente de Camargo e Sentelhas e apresentou erro quadrático médio e erro absoluto médio mais aproximado de zero;
- d) a evapotranspiração de referência estimada na área de pastagem comparada à evapotranspiração de referência estimada na área de floresta apresentaram valores médios aproximados ($3,4\text{mm dia}^{-1}$ e $3,3\text{mm dia}^{-1}$, respectivamente) e que a variação sazonal da evapotranspiração de referência é mínima, concordando assim com outros estudos encontrados na região.

Propõe-se um estudo futuro da evapotranspiração real na região utilizando os meios metodológicos desse estudo, visto que a tendência é de que a ETr seja significativamente maior nas áreas de florestas.

A vegetação em uma área de floresta tem característica de absorver água de regiões profundas (principalmente em épocas de seca), obtendo maior taxa de transpiração quando comparado com gramíneas, haja vista que uma menor evapotranspiração influencia negativamente e diretamente no ciclo hidrológico.

Portanto, conclui-se que com os resultados do presente estudo foi possível encontrar um modelo que estima com um menor número de variáveis a evapotranspiração de referência em áreas de floresta e de pastagem em Rondônia. Podendo ser aplicado em projeto de manejo da agricultura e no gerenciamento hídrico da região.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, R. G. **Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical no sudoeste da Amazônia**. Cuiabá: UFMT, 2005. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2005.

AGUIAR, R. G. **Balço de energia em ecossistema amaznico por modelo de regressão robusta com *Bootstrap* e validação cruzada**. Cuiabá: UFMT, 2005. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2013.

ALENCAR, L.P.; SEDIYAMA, G.C.; WANDERLEY, H. S.; ALMEIDA, T.S.A.; DELGADO, R.C. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no norte de Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 19, n. 5, p. 437-449, 2011.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Rome-Italy:FAO Irrigation and drainage, 1998. 56 p.

ANDRADE, S.C.P. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo do balanço de energia em áreas de floresta e pastagem em Rondônia no Brasil**. Campina Grande: UFCG, 2014. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande, 2014.

ARRUDA, J.C. **Estudo do fechamento do balanço de energia pelo método de covariância de vórtices turbulentos em uma floresta de transição em Mato Grosso**. Mato Grosso: UFMT, 2011. Tese (Doutorado em Física ambiental), Universidade Federal de Mato Grosso, 2011.

BERTOLO, E.J.P. **Aproveitamento da Água da Chuva em Edificações**. Porto: FEUP, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006.

BETTS, R.; SANDERSON, M.; WOODWARD, S. Effect of large-scale Amazon forest degradation on climate and air quality through fluxes of carbon dioxide, water, energy, mineral dust and isoprene. **Philosophical Transactions of The Royal Society B**, v.363, p.1873-1880, 2008.

BIUDES, M.S.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; NOGUEIRA, J.S.; SANCHES, L. Estimativa do balanço de energia em cambarazal e pastagem no norte do Pantanal pelo método da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.2, p.135-143, 2009.

BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. S.; DALMAGRO, H. J.; MACHADO, N. G.; DANELICHEN, V. H. M.; SOUZA M.C. Mudança no microclima provocada pela conversão de uma floresta de cambará em pastagem no norte do Pantanal. **Revista Ciências Agro-Ambientais**, v. 10, p.61-68, 2012.

BORBA, J. C. C. **Variação do Saldo de Radiação e Estimativa da Evapotranspiração na Floresta Amazônica**. Maceió: UFAL, 2003. Monografia (Bacharel em Meteorologia), Departamento de Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, 2003.

BORGES JÚNIOR, J.C.F.; ANJOS, R. J.; SILVA, T. J. A.; LIMA, J.R.S; ANDRADE, C. L. T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.4, p.380-390, 2012.

BRASIL. Decreto-lei n. 83.716, de 11 de julho de 1979. Cria, no território Federal de Rondônia, a Reserva Biológica do Jaru. **Diário Oficial da União**, Brasília, n. 83, p. 2, 12 jul. 1979. Seção 1.

BRASIL. Lei n. 9985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225. § 1º. Incisos I,II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 19 jul. 2000.

BRITO, A.C.C. **Evapotranspiração e uso da terra em áreas de diferentes coberturas vegetais na Amazônia Ocidental**. Ji-Paraná: UNIR, 2015. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, 2015.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CAMPOS, C.P. **Emissões históricas de CO₂ da mudança do uso da terra para agricultura e pastagem e a contribuição dos países para a mudança do clima - a proposta do Brasil para a convenção do clima**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2007. Tese (Doutorado em Ciências em planejamento energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

CARDOSO, G. M.; JUSTINO, F. Simulação dos componentes da evapotranspiração sob condições climáticas atuais e de cenários climáticos futuros de aquecimento global com o uso de modelos de clima-vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 85-95, 2013.

CARDOZO, F.S.; PEREIRA, G.; SHIMABUKURO, Y.E.; MORAES, E.C.; Avaliação das áreas queimadas no estado de Rondônia- Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro. v. 63. p. 705-716, 2014.

CHRISTOFFERSEN, B. O.; COUPE, N. R. Mechanisms of water supply and vegetation demand govern the seasonality and magnitude of evapotranspiration in Amazonia and Cerrado. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 191, p. 33-50, 2014.

CLARKE, R. T.; SILVA DIAS, P. L. As necessidades de observação e monitoramento dos ambientes brasileiros quanto aos recursos hídricos. **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**, v. 1, p.40-43, 2002.

COELHO FILHO, M. A.; PEREIRA, F. A. C.; ANGELOCCI, L. R.; OLIVEIRA, C.E.; SANTOS, G. X. **O processo de evapotranspiração Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011, p. 91-113.

COSTA, M. C. **Estimativa da evapotranspiração regional por meio de imagens orbitais**. Viçosa: UFV, 1997. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, 1997.

COSTA, A.P.M. **Modelação da evapotranspiração da roseira em cultivo em substrato**. Porto: FCUP, 2014. Dissertação (Mestrado em Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território), Universidade de Ciências do Porto 2014.

CRUZ, F.A. **Instalação e calibração de Lisímetro de pesagem e determinação da evapotranspiração de referência para a região de Seropédica- RJ**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências em Fitotecnia), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005.

CULF, A. D.; FISCH, G.; MALHI, Y.; NOBRE, C. A. The influence of the atmospheric boundary layer on carbon dioxide concentrations over a tropical forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 85, p. 149-158, 1997.

CUNHA, P.C.R.; NASCIMENTO, J.L.; SILVEIRA, P.M.; JÚNIOR, J.A. Eficiência de métodos para o cálculo de coeficientes do tanque classe A na estimativa da evapotranspiração de referência. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, v.43, p. 114-122, 2013.

CURI, H.M.O.; RADUNZ, A.L; SHOFFEL, E.R. Comparação entre métodos de estimativa da Evapotranspiração de referência para Pelotas-RS. In. Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 1, 2011, Guarapari, ES. **Anais...** Guarapari: 2011. Disponível em: <www.sbagro.org.br/anais_congresso_2011/.../01/cba01_161_166.pdf>. Acesso em: 06 set. 2015.

DIRMEYER, P.A.; BRUBAKER, K.L. Characterization of the Global Hydrologic Cycle from a Back-Trajectory Analysis of Atmospheric Water Vapor. **Journal Hydrometeorology**, v. 8, n.1, p.20- 37, 2007.

ESTATCAMP. **Action 2.5**. São Carlos, 2013. Disponível em: <www.portalaction.com.br> Acesso em: 5 fev. 2015.

FEARNSIDE, P.M. Serviços ambientais provenientes de florestas intactas, degradadas e secundárias na Amazônia brasileira. **Conservação da biodiversidade em paisagens antropizadas do Brasil. Curitiba:** Editora da Universidade Federal do Paraná, 2013. 40 p..

FEITOSA, J.R.P. Comparação entre a evapotranspiração potencial entre áreas de pastagens na Amazônia Central. In: XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2011, Fortaleza, CE. **Anais...** Guarapari: 2011. Disponível em: < www.cbmet.com/cbm.../13-962962004b855a432ee22428c17cf73e.pdf > Acesso em: 02 out. 2015.

FERNANDES, D.S.; SARAIVA, I.; MICHILIES, E. Estimativa de Evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves para condições úmidas. In. Congresso Brasileiro DE Agrometeorologia, 1, 2011, Guarapari, ES. **Anais...** Guarapari: 2011. Disponível em <www.simehgo.sectec.go.gov.br/downloads/publicacoes/artigos/sbm.pdf >. Acesso em: 05 set. 2015

FERRAZ, P. A. **Estimativa da Evapotranspiração de referência (ET_o) para região de Rio Branco - Acre.** Acre: UFAC, 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, Rio Branco- Acre, 2008.

GOMES, J.B. **Modelagem da radiação líquida via sensoriamento remoto aplicada à estimativa da evapotranspiração – estudo de caso para as condições amazônicas.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

GOUVÊA, J.R.F. **Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP.** Piracicaba: USP, 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.

INPE - Instituto nacional de pesquisas espaciais, 2014. Alertas de desmatamento na Amazônia verificados pelo DETER somam 716 km² entre junho e agosto. Disponível em:<http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3392>. Acesso em 01 de fev. 2015.

IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Pano de prevenção e combate aos incêndios florestais na reserva biológica do Jaru (2006-2007).** Ji-Paraná: IBAMA, 2006. 10 p.

IDARON - Agência de Defesa Sanitária Agrosilvopastoril do Estado de Rondônia. **Informativo técnico do rebanho bovino de Rondônia.** Porto Velho: IDARON, 2008.2p.

JESUS, E.S.; MATTOS, A.; JESUS, N.V.G. Análise da Evapotranspiração sobre o seridó nordestino em cenários de aquecimento. **Revista do Centro de Ciência naturais e exatas**, v. 36, p. 470-490, 2014.

KRUSCHE, A.V.; BALLESTER, M.V.R.; VICTORIA, R.L.; BERNARDES, M.C.; LEITE, N.K.; HANADA, L.; VICTORIA, D.C.; TOLEDO, A.M.; OMETTO, J.P.; MOREIRA, M.Z.; GOMES, B.M.; BOLSON, M.A.; NETO, S.G.; BONELLI, N.; DEEGAN, L.; NEILL, C.; THOMAS, S.; AUFDENKAMPÉ, A.K.; RICHEY, J.E. Efeitos das mudanças no uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná. **Revista Acta Amazonica**, v.35. p. 197-205, 2005.

LEIVAS, J.F.; TEIXIRA, A.H.C.; ANDRADE, R.G.; VICTORIA, D.C.; TORRESAN, F.E. Evapotranspiração no Pantanal utilizando modelo agrometeorológico-espectral SAFER. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2014, Campo Grande, MS. **Anais...** Campo Grande: 2014. Disponível em < www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2014/cd/p18.pdf >. Acesso em: 04 de jun 2015

LEOPOLDO, P. R.; FRANKEN, W. K.; NOVA, N. A.V. Real evapotranspiration and transpiration through a tropical rain forest in central Amazonia as estimated by the water balance method. **Forest Ecology and Management**, v. 73, p. 185-195, 1994.

LIMA, E. P. V.; SEDIYAMA, G. C.; ANDRADE, R. G.; LOPES, V. D.; SILVA, B. B. Evapotranspiração real diária em sub-bacias do Paracatu, utilizando produtos do sensor Modis. **Revista Ceres**, v. 61, p. 17-27, 2014.

LIMA, W.P. **Plantation Forestry and Water Science, Dogmas, Challenges**. Rio de Janeiro: The Brazilian Forest Dialogue, 2011.

LOURENZANI, W.L; CALDAS, M. M. Mudanças no uso da terra decorrentes da expansão da cultura de cana-de-açúcar na região oeste do estado de São Paulo. **Revista Ciência Rural, Santa Maria**, v.44,n.11, p. 1980-987, 2014.

MACHADO, C.C.; SILVA, B.B.; ALBUQUERQUE, M.B.; GALVÍNCIO, J.D. Estimativa do Balanço de energia utilizando imagens TM-Landsat 5 e o algoritmo sebal no litoral sul de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n. 1, p. 55-67, 2014.

MALHI, Y.; NOBRE A. D.; GRACE, J., KRUIJT, B.; PEREIRA, M. G. P.; SCOTT, S. Carbon dioxide transfer over a Amazonian rain Forest. **Jornal of Geophysical Research**, v. 103, p. 31593-31612, 1998.

MALLHER, A.; REZENDE, R.; FREITAS, P.S.L.; HARA, A.T.; OLIVEIRA, J.M. Ajuste, validação e comparação entre modelos preditores de área foliar da abobrinha italiana. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17, p.71-81, 2013.

MEDEIROS, A.T. **Estimativa da Evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith de medidas lisimétricas e de equações empíricas em Paraipaba, CE**. Piracicaba: USP, 2002. Tese (Doutorado em Agronomia, Irrigação e Drenagem), Universidade de São Paulo, 2002.

MENDONÇA, E. A.; DANTAS, R. T. Estimativa da evapotranspiração de referência no município de Capim, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.1, p. 96-202, 2010.

MICROSOFT. **Excel 2010**. California, 2010. Disponível em: <office.microsoft.com/en-us/excel> Acesso em: 12 fev. 2015.

MMA - Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. 1998. Primeiro Relatório Nacional para a convenção sobre a diversidade biológica. Brasil. **Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal**, Brasília.

MONTEIRO, P.F.C; FONTANA, D.C.; SANTOS, T.V.; ROBERTI, D.R. Estimativa dos componentes do balanço de energia e da evapotranspiração para áreas de cultivo de soja no sul do Brasil utilizando imagens do sensor TM Landsat 5. **Revista Agrometeorologia**, v. 73, n.1, p. 72-80, 2014.

MUNIZ, R.A.; SOUSA, E.F.; MENDONÇA, J.C.; ESTEVES, B.S.; LOUSADA, L.L. Balanço de energia e evapotranspiração do capim mombaça sob sistema de pastejo rotacionado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n.1. p. 47-54, 2014.

NEVES, F. F. ; SILVA, F. G. B. ; CRESTANA, S. Comparação entre três métodos de evapotranspiração potencial aplicados a duas sub-bacias hidrográficas de Descalvado - SP. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa - PB, 2005.

NICÁCIO, R.M. **Evapotranspiração real e umidade do solo usando dados de sensores orbitais e a metodologia Sebal na bacia do rio São Francisco**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2008. Tese (Doutorado em Ciências em engenharia civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

OLIVEIRA, G.; MORAES E.C. Validação do balanço de radiação obtido a parti de dados MODIS/TERRA na Amazônia com medidas de superfície do LBA. **Acta Amazonica**, v. 43, p. 353-364, 2012.

OLIVEIRA, L. M. M. O.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B. S.; ANTONINO, A. C. D.; MOURA, A. E. S. S. Evapotranspiração real em bacia hidrográfica do Nordeste brasileiro por meio do SEBAL e produtos MODIS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n.10, p.1039-1046, 2014.

PEREIRA, G.; SILVA, M.E.S.; MORAES, E.C. O uso de produtos orbitais para a parametrização de processos físicos em modelos numéricos regionais e suas alterações climatológicas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 11, p. 1-18, 2012.

PEREIRA, P.L.; RODRIGUES, H.J.B. Análise e estimativa dos componentes do balanço de energia em ecossistema de manguezal amazônico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n.1, p. 75-84, 2013.

PIONTEKOWSKI, V.J.; MATRICARDI, E.A.T.; PEDLOWSKI, M.A.; FERNARDES, L.C. Avaliação do Desmatamento no Estado de Rondônia entre 2001 e 2011. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 21, n.3, p. 297-306, 2014.

PITA, R.F.Q. **Influência das mudanças climáticas no cálculo da evapotranspiração no semi-árido da Paraíba**. João Pessoa: UFPB, 2011. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil), Universidade Federal da Paraíba, 2011.

REIS, E. F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G.O.; PEZZOPANE, J.E.M.; TAGLIAFERRE, C. Estudo comparativo da estimativa da Evapotranspiração de Referência para três localidades estado do Espírito Santo no período seco. **Revista Idesia**, v. 25, n. 3, p. 75-84, 2007.

ROCHA, H. R.; MANZI, A. O.; SHUTTLEWORTH, J. Evapotranspiration. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; SILVA DIAS, P. **Amazonia and Global Change**. v.1, p. 261-272, 2009.

ROCHA, V.M.; CORREIRA, F.W.S.; FONSECA, P.A.M. Reciclagem de precipitação na Amazônia: um estudo de Revisão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.30, n.1, p. 59-70, 2015.

RODRIGUES, R.A.S. Estimativa da Evapotranspiração de Referência (ET_o) diária para o município de Tracuateua, Pará. In. Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2013, Belém, PA. **Anais...** Belém, PA. Disponível em <<http://www.cbagro.submissao.ufra.edu.br/index.php/cbissn/cbagro/paper/view/176/41>>. Acesso em 06 jun 2015.

RONDÔNIA. Secretaria de Estado do **Climatológico de Rondônia - Ano 2010**. 34p., v. 12, Porto Velho: COGEO - SEDAM, 2012. Desenvolvimento Ambiental - SEDAM. Coordenadoria de Geociências – COGEO. **Boletim**.

SANTOS, C. A. C.; WANDERLEY, R. L. N.; ARAÚJO, A. L.; BEZERRA, B.G. Obtenção do saldo de radiação em áreas de pastagem e floresta na Amazônia (Estação seca) através do sensor modis. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n.3, p. 420- 432, 2014.

SATYAMURTY, P.; da COSTA, C. P. W.; MANZI, A. O. Moisture source for the Amazon Basin: a study of contrasting years. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 111, n. 1-2, p.195-209, 2013.

SILVA, J. M.; LINHARES, D. P.; NUNES, D. D.; ASSUNÇÃO, A. G.; LIMA, T. R.; FURLAN, D. N.; CARVALHO, A. C.; SOUZA, R. C. Evolution of Deforestation and Natural Resources Degradation in Rondônia. **Sociedade & Natureza, Uberlândia**, v. Especial, p. 502-511, 2005.

SILVA, R.D. **A integração da Amazônia: O desenvolvimento histórico das políticas desenvolvimentistas na região**. Brasília: UNB, 2013. Monografia (Bacharel em Geografia), Universidade de Brasília, 2013.

SOARES-FILHO, B.S.; NEPSTAD, D.C.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G.; GARCIA, R.A.; RAMOS, C.A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; VOLL, E.; MCGRATH, D. Cenários de desmatamento para Amazônia. **Estudos Avançados**, v.19, p.138-152, 2005.

SOUZA, A.P.; ESCOBEDO, J.F.; GOMES, E.N.; DAL PAI, A. Estimativa da radiação global incidente em superfícies inclinadas por modelos isotrópicos e índice de claridade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 4, p. 339-350, 2013.

SOUZA, A. S. P. **Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para fins de manejo de irrigação**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

SUGUIO, K. **Mudanças ambientais da terra**. São Paulo: Instituto Geológico da Secretaria do meio ambiente do estado de São Paulo, 2008. p. 90.

SYSTAT SOFTWARE. **Sigmaplot 11.0**. Chicago, 2008. Disponível em: <www.sigmaplot.com> Acesso em: 5 fev. 2015.

TAGLIAFERRE, C.; PAULA, A.; GUIMARÃES, U.G.; BARROSO, N.I.S. Estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado da Bahia. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 2, p. 136-143, 2012.

TAGLIAFERRE, C.; SILVA, J.; APOLÔNIO, R.; FELIZARDO, R. A.; COSTA SANTOS, L.; SANTOS DA SILVA, C. Estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiração de referência em Eunápolis-BA. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 103-111, 2010.

TANAKA, A.A. **Avaliação de métodos de estimativa da radiação solar global e da Evapotranspiração de referência para o Estado de Mato Grosso**. Botucatu: UNESP, 2013. Tese (Doutorado em Agronomia- Irrigação e Drenagem), Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, 2013.

THORNTHWAITE, C. W.; WILM, H. G. **Report of the Committee on evapotranspiration and transpiration, 1943-1944**. **Transactions of the American Geophysical Union**, 1944. p.686-693.

TORRES, R.R. **Análise de incertezas em projeções de mudanças climáticas na América do Sul**. São José dos Campos: UNESP, 2014. Tese (Doutorado em Meteorologia), Universidade Federal São José dos Campos, 2014.

VICTORIA, D.C. **Estimativa da Evapotranspiração da bacia do Ji-Paraná (RO) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. Piracicaba: USP, 2004. Dissertação (Mestrado em Ecologia em Agroecossistemas), Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, 2004.

WEBLER, A. D.; AGUIAR, R. G.; AGUIAR, L. J. G. Características da precipitação em área de floresta primária e área de pastagem no Estado de Rondônia. **Revista Ciência e Natureza**, v.especial, p.55-58, 2007.

WEBLER, A.D. **Caracterização e análise da variação temporada de componentes micrometeorológicos em uma área de pastagem no sudoeste da Amazônia**. Ji-Paraná: UNIR, 2011. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Rondônia, 2011.

WEBLER, A. D.; GOMES, J.B.; AGUIAR, R. G.; ANDRADE, N.L.R.; AGUIAR, L. J. G. Mudanças no uso da terra e o particionamento de energia no sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n.8, p. 868-876, 2013.

WILLMOTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIS, R.E. Statistics for evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. C5. p. 8995-9005, 1985.

ZHANG, L.; DAWES, W. R.; WALKER, G.R. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. **Water Resources Research**, v. 37, p. 701-708, 2001.

ZHANG, Y.; KENDY, E.; QIANG, Y.; CHANGMING, L.; YANJUN, S.; HONGYONG, S. Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the north China Plain. **Agricultural Water Manage**, v. 64, p. 107-122, 2004.