

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALINE APARECIDA DOS SANTOS

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA E HORÁRIA DOS PRINCIPAIS
TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS: PARAMETRIZAÇÃO, SISTEMATIZAÇÃO E
AUTOMATIZAÇÃO DE MODELOS DE ESTIMATIVA

CURITIBA

2024

ALINE APARECIDA DOS SANTOS

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA E HORÁRIA DOS PRINCIPAIS
TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS: PARAMETRIZAÇÃO, SISTEMATIZAÇÃO E
AUTOMATIZAÇÃO DE MODELOS DE ESTIMATIVA

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias,
Universidade Federal do Paraná, como requisito
parcial à obtenção do título de Doutora em Ciência
do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza.

CURITIBA

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Santos, Aline Aparecida dos

Evapotranspiração de referência diária e horária dos principais tipos climáticos brasileiros: parametrização, sistematização e automatização de modelos de estimativa / Aline Aparecida dos Santos. – Curitiba, 2024.

1 recurso online: PDF.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza

1. Evapotranspiração. 2. Clima. 3. Meteorologia. I. Souza, Jorge Luiz Moretti de. II. Universidade Federal do Paraná. Programa Pós-Graduação em Ciência do Solo. III. Título.

Bibliotecária: Telma Terezinha Stresser de Assis CRB-9/944

FOLHA DE APROVAÇÃO



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO -
40001016014P4

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação CIÊNCIA DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **ALINE APARECIDA DOS SANTOS** intitulada: **EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA E HORÁRIA DOS PRINCIPAIS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS: PARAMERIZAÇÃO, SISTEMATIZAÇÃO E AUTOMATIZAÇÃO DE MODELOS DE ESTIMATIVA**, sob orientação do Prof. Dr. JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutora está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 15 de Março de 2024.

Assinatura Eletrônica

15/03/2024 15:28:03.0

JORGE LUIZ MORETTI DE SOUZA
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

15/03/2024 12:19:34.0

PEDRO AUGUSTO BREDAS FONTAINE

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - DEP. DE GEOGRAFIA)

Assinatura Eletrônica

15/03/2024 12:19:43.0

CAMILA BERTOLETTI CARPENEDO

Avaliador Externo (DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

15/03/2024 12:24:05.0

STEFANIE LAIS KREUTZ ROSA

Avaliador Externo (SOLO FÁCIL CONSULTORIA E SERVIÇOS LTDA)

Assinatura Eletrônica

15/03/2024 13:21:22.0

DANIELA JERSZURKI

Avaliador Externo (SCIROOT, BNEI ATAROT)

AGRADECIMENTOS

- À Deus por ter me concedido sabedoria, disposição, saúde e por colocar em meu caminho pessoas muito especiais, que me trouxeram muita alegria e leveza durante toda minha trajetória acadêmica;
- Especialmente agradeço minha filha Alice, por ser essa pessoa maravilhosa a qual tenho orgulho de ser mãe, por estar sempre presente e torcendo pela mamãe. Tudo que faço é por você meu amor, te amo;
- Ao meu esposo Cláudio por seu apoio em cada passo que dei, por seu carinho e compreensão principalmente nos dias mais difíceis. Aos meus pais Ilcione e Renaldo, irmã Helena e minha sogra Marilene, pelo apoio, incentivo, ajuda, paciência e carinho em todos os momentos;
- Ao meu orientador e amigo, Professor Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza, por todo apoio, direcionamento, ensinamentos e principalmente pelos conselhos e preocupação em sempre mostrar o melhor dos seus alunos. Em suas palavras, as conquistas são méritos de esforços, mas certamente sem uma palavra de amparo ou um conselho amigo a jornada seria muito mais espinhosa e demorada, sou grata por cada palavra, as quais me proporcionaram transformações não somente no âmbito acadêmico, mas para a vida;
- À Universidade Federal do Paraná (UFPR), ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) e ao Departamento de Solos e Engenharia Agrícola (DSEA), pela oportunidade em realizar o Doutorado em Ciência do Solo, fornecendo todo suporte necessário para a realização das atividades requeridas durante estes quatro anos. Um agradecimento especial à nossa querida Denise, secretária do PPGCS, pelo sorriso aberto e gentileza de sempre. Ao corpo docente da Instituição, tenho a felicidade de dizer que levo muitos professores no coração;
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos para a realização do Doutorado; e
- Aos colegas doutorandos, mestrandos e graduandos da UFPR, agradeço o apoio. Em especial à amiga Stefanie Lais Kreutz Rosa Pitzahn por todo seu apoio, “ouvidos”, conselhos, com café e brigadeiro, e principalmente AMIZADE durante todo este período.

RESUMO GERAL

A evapotranspiração de referência (ET_o) corresponde a perda de água por uma cultura hipotética, em perfeito desenvolvimento vegetativo e em condições ideais de suprimento de água. Seu valor é importante para a quantificação da demanda hídrica de um sistema, permitindo adequado planejamento do uso de recursos hídricos. A ET_o pode ser medida em evapotranspirômetros e lisímetros, que além de caros exigem mão de obra qualificada, ou estimada com métodos indiretos. As estimativas com modelos têm incentivado o desenvolvimento de programas que permitem a automatização e estimativas mais rápidas e precisas de séries de ET_o . A ET_o também é mais precisa quando analisada na periodicidade horária ($ET_{o,h}$), mas há necessidade de verificação entre as estimativas diárias e horárias. Diante do contexto apresentado, teve-se por objetivo do presente estudo: i) Sistematizar, automatizar e testar rotinas e módulos desenvolvidos em planilha eletrônica, voltados à estimativa de séries diárias e horárias de evapotranspiração de referência, calculadas com modelos padrão adaptados/reduzidos; ii) Associar, calibrar parâmetros e analisar o desempenho (validação) da estimativa da $ET_{o,h}$, com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS), para os principais tipos climáticos brasileiros, tendo como padrão o modelo $ASCE$; e, iii) Associar e analisar séries de ET_o diária ($ET_{o,d}$) e horária ($ET_{o,h}$) estimadas com os modelos $ASCE$ padrão e adaptados/reduzidos, considerando apenas a temperatura média do ar como parâmetro de variação, para localidades dos principais tipos climáticos brasileiros. O presente estudo foi subdividido em quadro capítulos, sendo: Capítulo I – Referencial teórico e seleção dos bancos de dados em estações meteorológicas brasileiras; Capítulo II – Adaptação de métodos e desenvolvimento de módulos computacionais para estimativa de séries diárias e horárias de evapotranspiração de referência; Capítulo III – Calibração, validação e ajuste do modelo MJS para estimar a evapotranspiração de referência horária, dos principais tipos climáticos brasileiros; e, Capítulo IV – Validação de modelos adaptados/reduzidos para estimar séries de evapotranspiração de referência diária e horária, para os principais tipos climáticos brasileiros, considerando apenas a variação da temperatura do ar. As análises realizadas permitiram verificar que: i) Os Módulos desenvolvidos ($Módulo_{MJS-A}$ e $Módulo_{ET_{o,h-d}}$) permitiram sistematizar e automatizar rotinas para estimativa da ET_o com os modelos adaptados/reduzidos, em periodicidade horária e diária. No $Módulo_{MJS-A}$ estabeleceu-se coeficientes e ajustes no modelo MJS , conforme clima brasileiro. Com os modelos padrão e adaptados/reduzidos, e parâmetros estabelecidos conforme clima e periodicidade, foi desenvolvido o módulo ($Módulo_{ET_{o,h-d}}$) voltado às estimativas da ET_o . As associações entre os valores de ET_o estimados no $Módulo_{ET_{o,h-d}}$ e módulo “ $M.ET_{o,ASCE.e.MJS}$ da Plataforma Moretti” verificou-se bom desempenho dos indicadores estatísticos na periodicidade diária e horária, para os modelos $ASCE$ e MJS ; ii) Com o $Módulo_{MJS-A}$ realizou-se a calibração e parametrização do modelo MJS para todos os tipos climáticos brasileiros (Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa e Cwb). O coeficiente “ a ” do modelo MJS ficou com média entre 0,04 e $-1,00 \text{ mm h}^{-1}$ na calibração, e os valores de “ b ” ficaram entre $-2E-08$ e $-9E-08 \text{ mm h}^{-1}$. Foi necessário ajuste do descompasso que ocorre entre os valores horários estimados com os modelos MJS e $ASCE$. Em média, houve descompasso de uma hora entre as $ET_{o,ASCE,h}$ e $ET_{o,MJS,h}$ para os climas Am e Af , e de duas horas para os climas As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa e Cwb . Após ajuste, na validação, houve melhoria dos indicadores estatísticos (antes do ajuste: $0,55 \leq r \leq 0,91$; $0,10 \leq RMSE \leq 0,25 \text{ mm h}^{-1}$ e $-1,55 \leq NSE \leq 0,40$; e, após ajuste:

$0,73 \leq r \leq 0,98$; $0,6 \leq RMSE \leq 0,19 \text{ mm h}^{-1}$ e $-0,40 \leq NSE \leq 0,88$); *iii*) As associações realizadas para as ET_{o_d} e ET_{o_h} estimadas com os modelos *ASCE* padrão e adaptados/reduzidos indicaram que apenas o Penman-Monteith-Reduzido (*PMR*) apresentou precisão para estimar a $ET_{o_{PMR.h}}$ horária em oito dos nove tipos climáticos brasileiros. Os modelos adaptados/reduzidos *PMR*, *MJS* e *Turc* não apresentaram desempenho satisfatório e não são indicados para estimar a ET_o na periodicidade diária. Indica-se a utilização dos modelos adaptados/reduzidos na periodicidade diária somente em casos de necessidade, na indisponibilidade de dados climáticos em quantidade e/ou qualidade para estimar a ET_o com o método *ASCE* padrão.

Palavras-chave: Componente hidrológica. Métodos indiretos. Relações hídricas. Variáveis meteorológicas.

ABSTRACT

Reference evapotranspiration (ET_o) corresponds to the loss of water by a hypothetical crop, in perfect vegetative development and under ideal water supply conditions. Its value is important for quantifying the water demand of a system, allowing adequate planning of the use of water resources. ET_o can be measured using evapotranspirometers and lysimeters, which are expensive and require qualified labor, or estimated using indirect methods. Estimates with models have encouraged the development of programs that allow automation and faster and more accurate estimates of ET_o series. ET_o is also more accurate when analyzed on an hourly basis ($ET_{o,h}$), but there is a need to check between daily and hourly estimates. Given the context presented, the objective of this study was to: *i*) Systematize, automate, and test routines and modules developed in a spreadsheet, aimed at estimating daily and hourly series of reference evapotranspiration, calculated with adapted/reduced standard models; *ii*) Associate, calibrate parameters and analyze the performance (validation) of the $ET_{o,h}$ estimate, with the Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*) model, for the main Brazilian climate types, using the *ASCE* model as the standard; and, *iii*) Associate and analyze daily ($ET_{o,d}$), and hourly ($ET_{o,h}$) ET_o series estimated with the *ASCE* standard, and adapted/reduced models, considering only the average air temperature as a variation parameter, for locations with the main Brazilian climate types. The present study was subdivided into four chapters, as follows: Chapter I – Theoretical framework and selection of databases on Brazilian meteorological stations; Chapter II – Adaptation of methods and development of computational modules for estimating daily and hourly series of reference evapotranspiration; Chapter III – Calibration, validation, and adjustment of the *MJS* model to estimate hourly reference evapotranspiration for the main Brazilian climate types; and, Chapter IV – Validation of adapted/reduced models to estimate daily and hourly reference evapotranspiration series, for the main Brazilian climate types, considering only the variation in air temperature. The analyses carried out allowed us to verify that: *i*) The developed Modules (*Module_{MJS-A}* and *Module_{ET_{o,h-d}}*) made it possible to systematize and automate routines for estimating ET_o with the adapted/reduced models, on an hourly and daily basis. In the *Module_{MJS-A}*, coefficients and adjustments were established in the *MJS* model, according to the Brazilian climate. With the standard and adapted/reduced models, and parameters established according to climate, and periodicity, the module (*Module_{ET_{o,h-d}}*) focused on ET_o estimates was developed. The associations between the ET_o values estimated in the *Module_{ET_{o,h-d}}* and the “*M.ET_{o,ASCE}.and.MJS* Platform Moretti” module showed good performance of the statistical indicators on a daily and hourly basis, for the *ASCE* and *MJS* models; *ii*) With the *Module_{MJS-A}*, the *MJS* model was calibrated and parameterized for all Brazilian climate types (*Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* and *Cwb*). The “*a*” coefficient of the *MJS* model averaged between 0,04 and $-1,00 \text{ mm h}^{-1}$ in the calibration, and the “*b*” values averaged between $-2\text{E}-08$ and $-9\text{E}-08 \text{ mm h}^{-1}$. It was necessary to adjust the delay that occurs between the hourly values estimated with the *MJS* and *ASCE* models. On average, there was one hour difference between $ET_{o,ASCE,h}$ and $ET_{o,MJS,h}$ for the climates *Am* and *Af*, and two hours for the climates *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa*, and *Cwb*. After adjustment, in validation, there was an improvement in statistical indicators (before adjustment: $0,55 \leq r \leq 0,91$; $0,10 \leq RMSE \leq 0,25 \text{ mm h}^{-1}$, and $-1,55 \leq NSE \leq 0,40$; and, after adjustment: $0,73 \leq r \leq 0,98$; $0,6 \leq RMSE \leq 0,19 \text{ mm h}^{-1}$, and $-0,40 \leq NSE \leq 0,88$); *iii*) The associations made for the $ET_{o,d}$ and $ET_{o,h}$ estimated with the standard and adapted/reduced *ASCE* models indicated that only the Penman-Monteith-Reduced (*PMR*) was accurate in

estimating the hourly $ET_{oPMR,h}$ in eight of the nine Brazilian climate types. The adapted/reduced *PMR*, *MJS*, and *Turc* models did not perform satisfactorily and are not recommended for estimating ET_o on a daily basis. The use of adapted/reduced models on a daily periodicity is only recommended in cases of necessity, in the unavailability of climate data in quantity and/or quality to estimate ET_o with the standard *ASCE* method.

Keywords: Hydrological component. Indirect methods. Water relations. Meteorological variables.

LISTA DE SÍMBOLOS

Segue abaixo, conforme a estrutura em que se encontra dividida a tese, a relação e descrição dos principais símbolos das terminologias ou variáveis que foram utilizados no texto da tese:

RESUMO GERAL:

Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa e Cwb – Principais tipos climáticos brasileiros conforme classificação de Köppen;
ASCE – Método Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers (ASCE)* para estimativa da evapotranspiração de referência;
ET_o – Evapotranspiração de referência;
ET_{o,d} – Evapotranspiração de referência diária;
ET_{o,h} – Evapotranspiração de referência horária;
MJS – Modelo Moretti-Jerszurki-Silva para estimativa da evapotranspiração de referência;
PMR – Modelo Penman-Monteith-Reduzido para estimativa da evapotranspiração de referência;
R_n – Saldo de radiação solar;
T – Temperatura do ar;
T_{máx} – Temperatura máxima do ar;
T_{mín} – Temperatura mínima do ar;
UR – Umidade relativa do ar;
UR_{máx} – Umidade relativa máxima do ar;
UR_{mín} – Umidade relativa mínima do ar;
u₂ – Velocidade do vento medido a dois metros de altura.

CAPÍTULO I

“*a*” – Coeficiente linear da equação de regressão linear e/ou quadrática, resultante da relação “*ET_o vs Ψ_{ar}* ”, do modelo Moretti-Jerszurki-Silva;
ASCE – Modelo Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers (ASCE)* para estimativa da evapotranspiração de referência;
“*b*” – Coeficiente angular da equação de regressão linear e/ou quadrática, resultante da relação “*ET_o vs Ψ_{ar}* ” do modelo Moretti-Jerszurki-Silva;
“*c*” – Coeficiente da equação de regressão quadrática, resultante da relação “*ET_o vs Ψ_{ar}* ” do modelo Moretti-Jerszurki-Silva;
C_n – Constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados (*C_{n,horária}* = 37 K mm s³ Mg⁻¹ h⁻¹ para periodicidade horária e cobertura do solo com grama curta, ou *C_{n,diária}* = 900 K mm s³ Mg⁻¹ h⁻¹ para periodicidade diária e cobertura do solo com grama curta);
C_d – Constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotado (*C_{d,diurno}* = 0,24 s m⁻¹ para período diurno e grama curta, ou *C_{d,noturno}* = 0,96 s m⁻¹ para período noturno e grama curta, ou *C_{n,diária}* = 0,34 s m⁻¹ para período diário e grama curta);
ET – Evapotranspiração;
ET_o – Evapotranspiração de referência;
ET_{o,Alternativo} – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo alternativo;

ET_{PM} – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Penman-Monteith (PM) modificado e apresentado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations*;

ET_{ASCE} – Evapotranspiração de referência estimada com modelo Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers*;

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*;

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia;

MJS – Modelo Moretti-Jerszurki-Silva para estimativa da evapotranspiração de referência;

NSE – Eficiência de Nash-Sutcliffe;

PMR – Modelo Penman-Monteith-Reduzido para estimativa da evapotranspiração de referência;

PM-FAO – Método Penman-Monteith (PM) modificado e apresentado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations*;

r – Coeficiente de correlação;

R_a – Radiação solar no topo da atmosfera;

RMSE – Raiz quadrada do erro quadrado médio;

R_n – Saldo de radiação solar;

T – Temperatura do ar;

UR – Umidade relativa do ar;

u_2 – Velocidade média do vento a dois metros de altura;

Ψ_{ar} – Potencial hídrico atmosférico.

CAPÍTULO II

“a” – Coeficiente linear da equação de regressão linear e/ou quadrática, resultante da relação “ ET_o vs Ψ_{ar} ”, do modelo Moretti-Jerszurki-Silva;

Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa e Cwb – Principais tipos climáticos brasileiros conforme classificação de Köppen;

ASCE – Modelo Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* para estimativa da evapotranspiração de referência;

“b” – Coeficiente angular da equação de regressão linear e/ou quadrática, resultante da relação “ ET_o vs Ψ_{ar} ” do modelo Moretti-Jerszurki-Silva;

“c” – Coeficiente da equação de regressão quadrática, resultante da relação “ ET_o vs Ψ_{ar} ” do modelo Moretti-Jerszurki-Silva;

“d” – Descompasso dos valores de evapotranspiração de referencia horária do modelo Moretti-Jerszurki-Silva;

ET – Evapotranspiração;

ET_o – Evapotranspiração de referência;

ET_{PM} – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Penman-Monteith (PM) modificado e apresentado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations*;

ET_{ASCE} – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers*;

$ET_{MJS(\Psi_{ar})L.d}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS) linear na periodicidade diária;

$ET_{MJS(\Psi_{ar})L.dt}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS) linear na periodicidade diária, considerando variação apenas na temperatura;

$ET_{MJS(\Psi_{ar})L.h}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS) linear na periodicidade horária;

$ET_{MJS(\Psi_{ar})La.h}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo MJS linear, na periodicidade horária, considerando o ajuste do descompasso (mm h^{-1});

$ET_{MJS(\Psi_{ar})L.ht}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS) linear na periodicidade horária, considerando variação apenas na temperatura;

$ET_{MJS(\Psi_{ar})La.ht}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo MJS linear, na periodicidade horária, considerando o ajuste do descompasso e tendo como variável apenas a temperatura do ar (mm h^{-1});

$ET_{PMR.h}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Penman-Monteith-Reduzido, na periodicidade horária;

ET_{Td} – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Turc, na periodicidade diária;

ET_{Tah} – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Turc ajustado, na periodicidade horária;

ea – Pressão atual de vapor;

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*;

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia;

LAMOS/SCA/UFPR – Laboratório de Modelagem de Sistemas Ambientais, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná;

MJS – Modelo Moretti-Jerszurki-Silva para estimativa da evapotranspiração de referência;

MJS_{sn} – Modelo Moretti-Jerszurki-Silva para estimativa da evapotranspiração de referência, desconsiderando valores noturnos;

$Módulo_{ET_{o.h-d}}$ – Módulo denominado “Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) horária e diária com modelos padrão (ASCE) e alternativos”;

NSE – Eficiência de Nash-Sutcliffe;

PMR – Modelo Penman-Monteith-Reduzido para estimativa da evapotranspiração de referência;

PM-FAO – Método Penman-Monteith (PM) modificado e apresentado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations*;

r – Coeficiente de correlação;

R_a – Radiação solar no topo da atmosfera;

RMSE – Raiz quadrada do erro quadrado médio;

R_n – Saldo de radiação solar;

R_s – Radiação solar incidente;

$R_{s_{méd.p}}$ – Radiação solar incidente média do período;

T – Temperatura do ar;

$T_{méd}$ – Temperatura média do ar;

UR – Umidade relativa do ar;

VBA-Macro – *Visual Basic for Applications*;

Ψ_{ar} – Potencial hídrico atmosférico.

CAPÍTULO III

“ a ” – Coeficiente linear da equação de regressão linear e/ou quadrática, resultante da relação “ ET_o vs Ψ_{ar} ”, do modelo Moretti-Jerszurki-Silva;

Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa e Cwb – Principais tipos climáticos brasileiros conforme classificação de Köppen;

ASCE – Modelo Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* para estimativa da evapotranspiração de referência;
 ACP – Análise de Componentes Principais;
 “b” – Coeficiente angular da equação de regressão linear e/ou quadrática, resultante da relação “ ET_o vs Ψ_{ar} ” do modelo Moretti-Jerszurki-Silva;
 “c” – Coeficiente da equação de regressão quadrática, resultante da relação “ ET_o vs Ψ_{ar} ” do modelo Moretti-Jerszurki-Silva;
 C_n – Constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados ($C_{n_{horária}} = 37 \text{ K mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ou $C_{n_{diária}} = 900 \text{ K mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, para cobertura do solo com grama curta);
 C_d – Constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotado ($C_{d_{diurno}} = 0,24 \text{ s m}^{-1}$ para período diurno e grama curta, ou $C_{d_{noturno}} = 0,96 \text{ s m}^{-1}$ para período noturno e grama curta, ou $C_{n_{diária}} = 0,34 \text{ s m}^{-1}$ para período diário e grama curta);
 DP – Desvio Padrão;
 ET – Evapotranspiração;
 ET_o – Evapotranspiração de referência;
 ET_{o_h} – Evapotranspiração de referência horária;
 $ET_{o_{ASCE.h}}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers*, na periodicidade horária;
 $ET_{o_{MJS.h}}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS), na periodicidade horária;
 $ET_{o_{MJS(\Psi_{ar})La.h}}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS) linear ajustado, na periodicidade horária;
 $ET_{o_{MJS(\Psi_{ar})Q.h}}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS) quadrático, na periodicidade horária;
 GMT – Horário considerando o meridiano de Greenwich;
 IDW – Inverso da distância ponderada;
 INMET – Instituto Nacional de Meteorologia;
 LAMOSA/SCA/UFPR – Laboratório de Modelagem de Sistemas Ambientais, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná;
 Módulo_{MJS-A} – Módulo denominado “Ajustes do modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS) para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) horária”;
 MJS – Modelo Moretti-Jerszurki-Silva para estimativa da evapotranspiração de referência;
 MJS_h – Modelo Moretti-Jerszurki-Silva para estimativa da evapotranspiração de referência horária;
 NSE – Eficiência de Nash-Sutcliffe;
 PC1 – Componente Principal 1;
 PC2 – Componente Principal 2;
 PMR – Modelo Penman-Monteith-Reduzido para estimativa da evapotranspiração de referência;
 PM-FAO – Método Penman-Monteith (PM) modificado e apresentado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations*;
 r – Coeficiente de correlação;
 r_{linear} – Coeficiente de correlação considerando relações lineares;
 $r_{quadrático}$ – Coeficiente de correlação considerando relações quadráticas;
 Ra – Radiação solar no topo da atmosfera;
 RMSE – Raiz quadrada do erro quadrado médio;

R_n – Saldo de radiação solar;
 R_s – Radiação solar incidente;
 $R_{s_{méd.p}}$ – Radiação solar incidente média do período;
 SRC – Coeficientes de regressão padronizados;
 T – Temperatura do ar;
 $T_{méd}$ – Temperatura média do ar;
 UR – Umidade relativa do ar;
 $UR_{méd}$ – Umidade relativa média do ar;
 Ψ_{ar} – Potencial hídrico atmosférico;
 $\Psi_{ar.h}$ – Potencial hídrico atmosférico horário;
 UTC – Horário Universal Coordenado;
 UR – Umidade relativa do ar;
 u_2 – Velocidade do vento medido a dois metros de altura;
 V – Variância;
 $VBA-Macro$ – *Visual Basic for Applications*;
 Δe – Déficit de saturação de vapor.

CAPÍTULO IV

$"a"$ – Coeficiente linear da equação de regressão linear e/ou quadrática, resultante da relação " ET_o vs Ψ_{ar} ", do modelo Moretti-Jerszurki-Silva;
 $Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa$ e Cwb – Principais tipos climáticos brasileiros conforme classificação de Köppen;
 $ASCE$ – Modelo Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* para estimativa da evapotranspiração de referência;
 $ASCE_d$ – Modelo Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* para estimativa da evapotranspiração de referência diária;
 $"b"$ – Coeficiente angular da equação de regressão linear e/ou quadrática, resultante da relação " ET_o vs Ψ_{ar} " do modelo Moretti-Jerszurki-Silva;
 $"d"$ – Descompasso dos valores de evapotranspiração de referencia horária do modelo Moretti-Jerszurki-Silva;
 $DNMET$ – Departamento Nacional de Meteorologia do Brasil;
 ea – Pressão atual de vapor;
 $ea_{méd.p}$ – Pressão atual de vapor média do período;
 es – Pressão de saturação de vapor;
 $es_{méd.p}$ – Pressão de saturação de vapor média do período;
 ET – Evapotranspiração;
 ET_o – Evapotranspiração de referência;
 ET_{o_d} – Evapotranspiração de referência diária;
 ET_{o_h} – Evapotranspiração de referência horária;
 $ET_{o_{ASCE}}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers*;
 $ET_{o_{ASCE.d}}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* na periodicidade diária;
 $ET_{o_{ASCE.h}}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* na periodicidade horária;
 $ET_{o_{PMR.d}}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Penman-Monteith-Reduzido, na periodicidade diária;

$ET_{PMR.h}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Penman-Monteith-Reduzido, na periodicidade horária;

$ET_{MJS(\Psi_{ar})}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS) considerando o potencial hídrico atmosférico (Ψ_{ar});

$ET_{MJS(\Psi_{ar})L.d}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS) linear ajustado, na periodicidade diária;

$ET_{MJS(\Psi_{ar})La.h}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS) linear ajustado, na periodicidade horária;

ET_{Td} – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Turc, na periodicidade diária;

$ET_{Ta.h}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Turc, na periodicidade horária;

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia;

LAMOS/SCA/UFPR – Laboratório de Modelagem de Sistemas Ambientais, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná;

MJS – Modelo Moretti-Jerszurki-Silva para estimativa da evapotranspiração de referência;

$MJS_{a.h}$ – Modelo Moretti-Jerszurki-Silva ajustado, para estimativa da evapotranspiração de referência na periodicidade horária;

MJS_{d24} – Modelo Moretti-Jerszurki-Silva para estimativa da evapotranspiração de referência na periodicidade diária, com o somatório de 24 horas;

NSE – Eficiência de Nash-Sutcliffe;

PMR – Modelo Penman-Monteith-Reduzido para estimativa da evapotranspiração de referência;

PMR_h – Modelo Penman-Monteith-Reduzido para estimativa da evapotranspiração de referência, na periodicidade horária;

PMR_{d24} – Modelo Penman-Monteith-Reduzido para estimativa da evapotranspiração de referência na periodicidade diária, com o somatório de 24 horas;

PM-FAO – Método Penman-Monteith (PM) modificado e apresentado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations*;

r – Coeficiente de correlação;

RMSE – Raiz quadrada do erro quadrado médio;

Rn – Saldo de radiação solar;

$Rn_{med.p}$ – Saldo de radiação solar médio do período;

Rs – Radiação solar incidente;

Rs_{med} – Radiação solar incidente média;

$Rs_{med.p}$ – Radiação solar incidente média do período;

$T_{a.d24}$ – Modelo Turc ajustado, para estimativa da evapotranspiração de referência na periodicidade diária, com o somatório de 24 horas;

$T_{a.h}$ – Modelo Turc ajustado, para estimativa da evapotranspiração de referência na periodicidade horária;

T_{max} – Temperatura máxima do ar;

T_{min} – Temperatura mínima do ar;

T_{med} – Temperatura média do ar;

UR – Umidade relativa do ar;

UR_{max} – Umidade relativa máxima do ar;

UR_{min} – Umidade relativa mínima do ar;

UR_{med} – Umidade relativa média do ar;

$UR_{med.p}$ – Umidade relativa média do período;

u_2 – Velocidade do vento medido a dois metros de altura;

$u_{2\text{méd.p}}$ – Velocidade média do vento medido a dois metros de altura, do período considerado;

VBA-Macro – *Visual Basic for Applications*;

Ψ_{ar} – Potencial hídrico atmosférico;

Δ – Tangente à curva de pressão de vapor.

CONCLUSÕES GERAIS

“ a ” – Coeficiente linear da equação de regressão linear e/ou quadrática, resultante da relação “ ET_o vs Ψ_{ar} ”, do modelo Moretti-Jerszurki-Silva;

Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa e Cwb – Principais tipos climáticos brasileiros conforme classificação de Köppen;

ASCE – Método Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers* (*ASCE*);

“ b ” – Coeficiente angular da equação de regressão linear e/ou quadrática, resultante da relação “ ET_o vs Ψ_{ar} ” do modelo Moretti-Jerszurki-Silva;

ET_o – Evapotranspiração de referência;

$ET_{oASCE.h}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Penman-Monteith modificado pela *American Society of Civil Engineers*, na periodicidade horária;

ET_{oh} – Evapotranspiração de referência horária;

ET_{oMJS} – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*);

$ET_{oMJS(\Psi_{ar})L.h}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*) linear, na periodicidade horária;

$ET_{oPMR.h}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo Penman-Monteith-Reduzido, na periodicidade horária;

GMT – Horário considerando o meridiano de Greenwich;

$Módulo_{ET_o.h-d}$ – Módulo denominado “Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) horária e diária com modelos padrão (*ASCE*) e alternativos”;

$Módulo_{MJS-A}$ – Módulo denominado “Ajustes do modelo Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*) para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) horária”;

MJS – Modelo Moretti-Jerszurki-Silva de estimativa da evapotranspiração de referência;

$MJS_{a.h}$ – Modelo Moretti-Jerszurki-Silva ajustado, para estimativa da evapotranspiração de referência na periodicidade horária;

$MJS.d$ – Modelo Moretti-Jerszurki-Silva de estimativa da evapotranspiração de referência, na periodicidade diária;

MJS_{d24} – Modelo Moretti-Jerszurki-Silva para estimativa da evapotranspiração de referência na periodicidade diária, com o somatório de 24 horas;

PMR_{d24} – Modelo Penman-Monteith-Reduzido para estimativa da evapotranspiração de referência na periodicidade diária, com o somatório de 24 horas;

Rn – Saldo de radiação solar;

$T_{méd}$ – Temperatura média do ar;

$T_{a.d24}$ – Modelo Turc ajustado, para estimativa da evapotranspiração de referência na periodicidade diária, com o somatório de 24 horas;

u_2 – Velocidade do vento medido a dois metros de altura;

$UR_{méd}$ – Umidade relativa média do ar;

Δe – Déficit de saturação de vapor.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	20
1.1	CAPÍTULO I – REFERENCIAL TEÓRICO	23
1.1.1	Evapotranspiração de referência e métodos para a sua estimativa	23
1.1.2	Seleção do modelo <i>MJS</i> linear ou quadrática de melhor ajuste	29
1.1.3	Sistemas para avaliação de dados e estimativa da <i>ET_o</i>	31
1.1.4	Seleção das estações meteorológicas automáticas do banco de dados	32
1.2	REFERÊNCIAS	36
2	CAPÍTULO II – ADAPTAÇÃO DE MÉTODOS E DESENVOLVIMENTO DE MÓDULOS COMPUTACIONAIS PARA ESTIMATIVA DE SÉRIES DIÁRIAS E HORÁRIAS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA	43
2.1	RESUMO	43
2.2	ABSTRACT	44
2.3	INTRODUÇÃO	45
2.4	MATERIAL E MÉTODOS	47
2.4.1	Desenvolvimento dos módulos computacionais	47
2.4.2	Modelos selecionados, adaptados e utilizados no Módulo para estimar a <i>ET_o</i> horária e diária	48
2.4.3	Testes para verificação do módulo desenvolvido	54
2.4.4	Análise estatística	54
2.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
2.5.1	Ajustes do modelo Moretti-Jerszurki-Silva (<i>MJS</i>) para a estimativa da evapotranspiração de referência (<i>ET_o</i>) horária	56
2.5.2	Estimativa da evapotranspiração de referência (<i>ET_o</i>) horária e diária com modelos padrão (<i>ASCE</i>) e alternativos	62
2.5.3	Vantagens e desvantagens do <i>Módulo_{ET_o.h-d}</i> , em relação aos programas que estimam a <i>ET_o</i>	69
2.5.4	Testes das rotinas de cálculo dos modelos <i>ASCE</i> e <i>MJS</i> no <i>Módulo_{ET_o.h-d}</i> , na periodicidade diária e horária	71
2.6	CONCLUSÕES	78
2.7	REFERÊNCIAS	79
3	CAPÍTULO III – CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO MORETTI-JERSZURKI-SILVA PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA DOS CLIMAS BRASILEIROS	83
3.1	RESUMO	83
3.2	ABSTRACT	84
3.3	INTRODUÇÃO	85
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	87
3.4.1	Locais de realização do estudo e seleção das estações meteorológicas	87
3.4.2	Estimativa da evapotranspiração de referência (<i>ET_o</i>)	88

3.4.3	Módulo e dados meteorológicos utilizados para as estimativas da ET_o horária.	90
3.4.4	Análise estatística para validação dos modelos	91
3.4.5	Ajuste do descompasso do modelo MJS na periodicidade horária	92
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	95
3.5.1	Calibração do modelo Moretti-Jerszurki-Silva	95
3.5.2	Validação da $ET_{oMJS(\psi_{ar})L.h}$	100
3.5.3	Ajuste horário do modelo MJS e validação da $ET_{oMJS(\psi_{ar})L.a.h}$ ajustada	102
3.5.3.1	Motivo para a ocorrência do descompasso	104
3.5.3.2	Correção do descompasso do modelo MJS em relação ao $ASCE$	107
3.5.3.3	Indicadores estatísticos do modelo MJS antes e após a correção do descompasso	111
3.5.3.4	Distribuição espacial do ajuste do modelo Moretti-Jerszurki-Silva	113
3.6	CONCLUSÕES	114
3.7	REFERÊNCIAS	115
4	CAPÍTULO IV – VALIDAÇÃO DE MODELOS ADAPTADOS E REDUZIDOS PARA ESTIMAR SÉRIES DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA E HORÁRIA, PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS, CONSIDERANDO APENAS A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR	119
4.1	RESUMO	119
4.2	ABSTRACT	120
4.3	INTRODUÇÃO	121
4.4	MATERIAL E MÉTODOS	123
4.4.1	Estações meteorológicas selecionadas	123
4.4.2	Equações para estimativa da evapotranspiração de referência diária (ET_{od}) e horária (ET_{oh})	125
4.4.3	Módulo utilizado e dados meteorológicos para estimativa da ET_o	130
4.4.4	Análise estatística	131
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	132
4.5.1	Entrada dos dados climáticos nos modelos testados: médias horárias ou diárias	132
4.5.2	Análise das médias das variáveis meteorológicas, conforme os climas brasileiros	134
4.5.3	Validação dos modelos testados na periodicidade horária	146
4.5.4	Validação dos modelos testados na periodicidade diária	150
4.6	CONCLUSÕES	156
4.7	REFERÊNCIAS	156
5	CONCLUSÕES GERAIS	160
6	REFERÊNCIAS GERAIS	162
	APÊNDICE 1 – APLICAÇÃO DE CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS	171

APÊNDICE 2 – <i>SCRIPT</i> DESENVOLVIDO NO <i>VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS</i> (VBA) PARA CONSTRUÇÃO DAS <i>FUNCTIONS</i> UTILIZADAS NOS MÓDULOS (<i>Módulo_{MJS-A}</i> , E <i>Módulo_{ETo.h-d}</i>)	213
APÊNDICE 3 – ROTEIRO PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA (<i>ET_{o,d}</i>) E HORÁRIA (<i>ET_{o,h}</i>) COM O MODELO PENMAN-MONTEITH, PROPOSTO PELA <i>AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS</i> (ASCE-EWRI, 2005)	223
APÊNDICE 4 – MÉDIA HORÁRIA E ESTACIONAL DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS DOS PRINCIPAIS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS	230
APÊNDICE 5 – MÉDIAS HORÁRIAS DA TEMPERATURA (<i>T_{med}</i>), UMIDADE RELATIVA (<i>UR_{med}</i>), RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (<i>R_s</i>) E VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (<i>u₂</i>), OBTIDAS DE VALORES HORÁRIOS ENTRE 01/01/2017 A 31/12/2020, PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (<i>ET_o</i>), DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NOS CLIMAS BRASILEIROS (<i>Af</i> , <i>Am</i> , <i>As</i> , <i>Aw</i> , <i>BSh</i> , <i>Cfa</i> , <i>Cfb</i> , <i>Cwa</i> E <i>Cwb</i>)	238
APÊNDICE 6 – COEFICIENTES DO MODELO MORETTI-JERSZURKI-SILVA (<i>MJS</i>), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO E SELEÇÃO DOS MODELOS <i>MJS</i> (LINEAR OU QUADRÁTICO) DE MELHOR AJUSTE	248
APÊNDICE 7 – INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NA VALIDAÇÃO, DAS ASSOCIAÇÕES ENTRE <i>ET_o</i> HORÁRIAS (ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020) DE LOCALIDADES DOS CLIMAS BRASILEIROS (<i>Af</i> , <i>Am</i> , <i>As</i> , <i>Aw</i> , <i>BSh</i> , <i>Cfa</i> , <i>Cfb</i> , <i>Cwa</i> E <i>Cwb</i>), ESTIMADAS COM OS MODELOS <i>ASCE-PM</i> (<i>ET_{o,ASCE}</i>) PADRÃO E MORETTI-JERSZURKI-SILVA, ANTES E APÓS AJUSTE DO DESCOMPASSO (<i>ET_{o,MJS}</i> E <i>ET_{o,MJS,a}</i> , RESPECTIVAMENTE): RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (<i>RMSE</i> ; mm h ⁻¹); COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (" <i>r</i> "; ADIMENSIONAL); E, EFICIÊNCIA DE NASH-SUTCLIFFE (<i>NSE</i> ; ADIMENSIONAL)	267
APÊNDICE 8 – VALIDAÇÃO DE MODELOS ALTERNATIVOS (<i>PMR</i> , <i>MJS</i> E <i>TURC</i>) DE ESTIMATIVA DA <i>ET_o</i> HORÁRIA E DIÁRIA PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (<i>Af</i> , <i>Am</i> , <i>As</i> , <i>Aw</i> , <i>BSh</i> , <i>Cfa</i> , <i>Cfb</i> , <i>Cwa</i> E <i>Cwb</i>), TENDO SOMENTE A TEMPERATURA DO AR COMO VARIÁVEL DE ENTRADA, CONSIDERANDO O MODELO <i>ASCE-PM</i> COMO PADRÃO	371

1 INTRODUÇÃO GERAL

A evapotranspiração de referência (ET_o) é uma das componentes do balanço hídrico, e corresponde às perdas de água por evaporação na superfície do solo e transpiração da planta. O estudo da ET_o é importante para obtenção de dados precisos para realização do planejamento de uso dos recursos hídricos e manutenção da qualidade do solo (Emeka et al., 2021; Paredes et al., 2020). Quando há falta de água para as plantas tem-se a diminuição da abertura estomática, diminuindo as taxas de transpiração e fotossintética (Subedi et al., 2019), podendo haver perda de produtividade se ocorrer déficit hídrico.

A ET_o depende de vários fatores que estão compreendidos entre a relação água-solo disponível às plantas e interações entre variáveis externas, como saldo de radiação solar (R_n), velocidade do vento (u_2), umidade relativa (UR) e temperatura do ar (T). Depende também das variáveis internas, compreendendo aspectos fisiológicos como movimentação estomática, área foliar, altura da planta e presença ou não de tricomas. O termo evapotranspiração de referência refere-se à perda de água por uma cultura hipotética de referência, com altura de cultivo de 0,12 m (grama) ou 0,50 m (alfafa), resistência superficial fixa de 70 s m^{-1} e albedo de 0,23. A superfície de referência assemelha-se a uma extensa área, sem deficiência hídrica, de altura uniforme, em crescimento ativo e sombreando completamente a superfície do solo (Allen et al., 1998; ASCE-EWRI, 2005).

Os modelos para estimativa da ET_o na periodicidade horária apresentam maior precisão que os destinados à estimativa na periodicidade diária (Nolz e Rodný 2019; Dhungel et al., 2019; Tran et al., 2019). Dentre os métodos que possibilitam as estimativas horárias e diárias da ET_o (ET_{oh} e ET_{od}) destaca-se o modelo da *American Society of Civil Engineers* (ASCE; ASCE-EWRI, 2005), que consistiu na modificação do modelo da *Food and Agriculture Organization* (FAO; Allen, 1998). O modelo ASCE possui ajustes que possibilitam resultados ainda mais precisos para a periodicidade horária, sendo considerado padrão de estimativa da ET_o e um dos modelos mais utilizados na atualidade (Gurski et al., 2018; Santos et al., 2021a; Santos et al., 2021b). Para realizar a estimativa da ET_o , o modelo ASCE necessita da temperatura máxima ($T_{\max}$) e mínima ($T_{\min}$) do ar, velocidade do vento (u_2), umidade relativa máxima ($UR_{\max}$) e mínima ($UR_{\min}$) do ar e saldo de radiação (R_n). Contudo, as variáveis necessárias nem sempre estão disponíveis nas estações meteorológicas. Quando

disponíveis, muitas vezes apresentam grandes intervalos de falhas, principalmente nas localidades afastadas dos grandes centros urbanos. Desta forma, quando as variáveis de entrada do *ASCE* não estão disponíveis, modelos adaptados/reduzidos que exigem menor número de variáveis podem ser uma alternativa (Santos et al., 2021b; Vásquez et al., 2022; Rosa, 2023).

Penman-Monteith-Reduzido (*PMR*; Paredes et al., 2020), Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*; Jerszurki et al., 2017) e Turc modificado por Fisher e Pringle (2013) (*Turc*; Turc, 1961), são modelos alternativos (adaptados ou reduzidos) que têm obtido bons resultados em alguns estudos apresentados na bibliografia, para realizar a estimativa diária e/ou horária da *ET_o*.

Paredes et al. (2020) consideram que os modelos reduzidos, tendo apenas a temperatura como variável, são ótima alternativa para estimar a *ET_o* em locais remotos, em que os dados climáticos são escassos ou possuem muitas falhas. Além disso, os modelos alternativos (adaptados ou reduzidos), também são importantes para estimar a *ET_o* espacializada (Paredes et al., 2020; Paredes et al., 2021).

Portanto, a análises de métodos alternativos (adaptados ou reduzidos), que necessitam apenas da temperatura média do ar como variável de entrada para realizar a estimativa diária e/ou horária da *ET_o*, é importante como metodologia para inúmeros estudos envolvendo relações hídricas, como: espacialização da *ET_o* em bacias hidrográficas e em grandes áreas (Paredes et al., 2020; Paredes et al., 2021); realização de balanços hídricos mais consistentes (Souza et al., 2017); estudo das relações hídricas com séries de dados climáticos; manejo da irrigação em perímetros irrigados; entre outros.

Silva (2021) realizou estudo da espacialização da *ET_o* para grandes áreas utilizando modelos reduzidos, tendo poucas variáveis associadas a imagens de satélite. Paredes et al. (2020) e Paredes et al. (2021) também espacializaram a *ET_o* diária estimada, utilizando valores médios das variáveis meteorológicas. Modelos reduzidos facilitam a estimativa da *ET_o*, possibilitando substituir o modelo *ASCE* padrão, que necessita de grande quantidade de dados de entrada.

Outro aspecto importante consiste na necessidade de ferramentas automatizadas que realizem a estimativa de séries de *ET_o* com diferentes modelos, conforme a disponibilidade de dados climáticos. A automatização é um procedimento

cada vez mais necessários para evitar erros de cálculo, reduzir o tempo de processamento e mão de obra, bem como facilitar a realização de calibrações dos parâmetros do modelo utilizado. Na literatura, são encontrados pacotes e *Softwares* para o cálculo da ET_o , como: “*Fortran Morton WREVP*” (McMahon et al., 2013); “*Evapotranspiration*”, desenvolvido no R (Guo et al., 2016); “FAO ET_o calculator” (Raes, 2009); e, Módulo “*M.ET_oASCE.e.MJS* da Plataforma Moretti” (Santos et al., 2020a; Rosa, 2023). Contudo, são pacotes e *Softwares* que nem sempre são gratuitos ou de fácil utilização, bem como apresentam restrições de uso quanto à periodicidade. Neste sentido, considera-se que ainda existe lacunas quanto à existência de módulos automáticos que possibilitem a estimativa de séries de ET_o na periodicidade horária e diária, que sejam simples e de fácil acesso.

Diante do contexto apresentado, considera-se que é importante a avaliação e proposição de alternativas ou metodologias para facilitar a estimativa da ET_o com modelos adaptados/reduzidos, bem como verificar o desempenho destes modelos na periodicidade horária e diária. Para evitar erros e proporcionar facilidades torna-se importante o desenvolvimento de módulos computacionais para estimativa automatizada da ET_o . Tais iniciativas são fundamentais para analisar e melhorar a compreensão das relações hídricas nos diferentes tipos climáticos brasileiros (*Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* e *Cwb*), servindo de base também para estudos envolvendo a engenharia de água e solo. Desta forma, teve-se por objetivo no presente estudo: *i*) Sistematizar, automatizar e testar rotinas e módulos desenvolvidos em planilha eletrônica, voltados à estimativa de séries diárias e horárias de evapotranspiração de referência, calculadas com modelos padrão e adaptados/reduzidos; *ii*) Associar, calibrar parâmetros e analisar o desempenho (validação) da estimativa da ET_{o_h} , com o modelo *MJS*, para os principais tipos climáticos brasileiros, tendo como padrão o modelo *ASCE*; e, *iii*) Associar e analisar séries de ET_{o_d} e ET_{o_h} estimadas com o modelo *ASCE* padrão e modelos adaptados/reduzidos, considerando apenas a temperatura média do ar como parâmetro de variação, para localidades situadas nos principais tipos climáticos brasileiros.

Para alcançar os objetivos apresentados, o presente estudo encontra-se estruturado nos seguintes capítulos:

- Capítulo I: Referencial teórico e seleção dos bancos de dados em estações meteorológicas brasileiras;
- Capítulo II: Adaptação de métodos e desenvolvimento de módulos computacionais para estimativa de séries diárias e horárias de evapotranspiração de referência;
- Capítulo III: Calibração e validação do modelo Moretti-Jerszurki-Silva para estimar a evapotranspiração de referência horária dos climas brasileiros; e,
- Capítulo IV: Validação de modelos adaptados e reduzidos para estimar séries de evapotranspiração de referência diária e horária, para os tipos climáticos brasileiros, considerando apenas a variação da temperatura do ar.

1.1 CAPÍTULO I – REFERENCIAL TEÓRICO

1.1.1 Evapotranspiração de referência e métodos para a sua estimativa

A evaporação da água que se encontra no solo e a transpiração das plantas compreendem a evapotranspiração (ET). A ET é controlada pelo suprimento de água às plantas e interação entre variáveis externas (componentes meteorológicas: saldo de radiação solar, Rn ; umidade relativa, UR ; velocidade do vento, u_2 ; temperatura do ar, T ; entre outros) e internas (aspectos fenológicos da planta: altura, área foliar, presença de tricomas, velocidade de abertura e fechamento estomático, entre outros) (Lopes e Leal, 2016; Ji et al., 2017; Santos et al., 2021a). A ET é importante componente hidrológica aplicada ao planejamento dos recursos hídricos e solo, uma vez que há necessidade de controle das entradas e saídas de água nos sistemas de cultivos (Paredes et al., 2020).

Para melhorar a compreensão e utilização técnica, o conceito de evapotranspiração de referência (ET_o) foi idealizado e refere-se à perda de água por uma cultura hipotética de referência, como a grama (0,12 m de altura) ou alfafa (0,50 m de altura), assumindo-se perfeito desenvolvimento vegetativo e condições ideais de suprimento de água. Considera-se também aspectos internos das plantas, tais como velocidade de fechamento e abertura estomática, área foliar, presença de tricomas, entre outros fenótipos (Allen, 1998; ASCE-EWRI, 2005). Tendo-se o conhecimento

das variáveis internas, há a possibilidade de verificar as mudanças da *ETo* mediante a influência das variáveis externas, bem como sua tendência central horária e diária ao longo de determinado período (Jerszurki et al., 2017; Souza et al., 2021; Santos et al., 2021b).

A *ETo* pode ser determinada diretamente com evapotranspirômetros ou lisímetros, contudo são métodos que exigem mão de obra qualificada e apresentam altos custos em comparação com os métodos indiretos (Dhungel et al., 2019). O intervalo de tempo considerado para o cálculo de *ETo* pode variar conforme o objetivo do estudo. Na literatura é comum o uso de intervalo mensal, diário ou mesmo horário. A escolha da periodicidade depende da precisão e disponibilidade dos dados. Em áreas onde há grandes mudanças na velocidade do vento, nebulosidade ou ponto de orvalho ao longo do dia, o cálculo da evapotranspiração na periodicidade horária é mais preciso (Noia et al., 2014; Lopes e Leal, 2016).

A literatura é riquíssima em equações e métodos alternativos destinados à estimativa da *ETo* (TABELA 1.1). Contudo, os modelos mais recomendados e utilizados como padrão na literatura são o Penman-Monteith FAO N° 56 (Allen et al., 1998; Equação 01 da TABELA 1.1) e Penman-Monteith ASCE (ASCE-EWRI, 2005; Equação 02 da TABELA 1.1).

Após a publicação do Boletim 56 da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO; Allen et al., 1998), o método Penman-Monteith-FAO (*PM-FAO*) tornou-se padrão para determinar a *ETo*. O modelo *PM-FAO* consiste no aperfeiçoamento da equação proposta inicialmente por Penman (1948), sendo seu bom desempenho comprovado em estudos realizados no planeta, inclusive no Brasil. Trabalhos avaliando equações de estimativa da *ETo* (Ventura et al., 1999; Lecina et al., 2003; Berengena e Gavilán, 2005; Allen et al., 2006; López-Urrea et al., 2006; Gavilán et al., 2007; Trajkovic, 2009) indicaram superioridade da equação Penman-Monteith para estimativa da *ETo* horária. O modelo *PM-FAO* apresenta como vantagens a possibilidade de ser utilizado globalmente sem qualquer calibração, por ser físico e apresentar segurança na utilização, e também por ter sido testado e comparado exaustivamente com vários tipos de evapotranspirômetro e lisímetros (Santos e Souza, 2020; Santos et al., 2021a).

TABELA 1.1 – PRINCIPAIS MÉTODOS INDIRETOS UTILIZADOS PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA.

Nº	Modelo	Fórmula	Variáveis ⁽¹⁾	Fonte
01	Penman-Monteith FAO 56	$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{(T + 273)} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)}$	$\Delta; R_n; G; \gamma; T; u_2; e_s; e_a$	Allen et al. (1998)
02	ASCE-Penman Monteith	$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{C_n}{(T + 273)} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + C_d \cdot u_2)}$	$\Delta; R_n; G; \gamma; C_n; T; u_2; e_s; e_a; C_d$	ASCE-EWRI (2005)
03	Hargreaves-Samani	$ET_o = 0,0023 \cdot R_a \cdot (T_{máx} - T_{mín})^{0,5} \cdot (T + 17,8)$	$R_a; T_{máx}; T_{mín}; T$	Hargreaves e Samani (1985)
04	Thornthwaite	$ET_o = 16 \cdot \left(10 \cdot \frac{T}{I}\right)^\alpha \cdot \left(\frac{N}{12} \cdot \frac{ND}{30}\right)$	$T; I; \alpha; N; ND$	Thornthwaite (1948)
05	Thornthwaite modificado por Camargo	$ET_o = 16 \cdot \left(10 \cdot \frac{T_{ef}}{I}\right)^\alpha \cdot \left(\frac{N}{12} \cdot \frac{ND}{30}\right)$	$T_{ef}; I; \alpha; N; ND$	Camargo (1999)
06	Camargo	$ET_o = F \cdot R_a \cdot T \cdot ND$	$F; R_a; T; ND$	Camargo (1971)
07	Makking	$ET_o = 0,61 \cdot W \cdot R_s - 0,12$	$W; R_s$	Makking (1957)
08	Hargreaves-Original	$ET_o = 0,135 \cdot \frac{R_s}{\lambda} \cdot (T + 17,8)$	$R_s; T; \lambda$	Cunha et al. (2017)
09	Tanner-Pelton	$ET_o = 0,457 \cdot R_n - 0,11$	R_n	Cunha et al. (2017)
10	Stephens-Stewart	$ET_o = 0,4047 \cdot R_s \cdot [(0,01476 \cdot T) + 0,0724]$	$R_s; T$	Cunha et al. (2017)
11	Tanner-Pelton	$ET_o = 0,457 \cdot R_n - 0,11$	R_n	Cunha et al. (2017)
12	Blaney-Criddle-FAO24	$ET_o = fc \cdot [p \cdot (0,46 \cdot T + 8)]$	$fc; p; T$	Doorenbos e Pruitt (1977)
13	Priestley-Taylor	$ET_o = 1,26 \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot (R_n + G)$	$\Delta; R_n; G; \gamma$	Weib, et al. (2008)
14	FAO-24 Radiação	$ET_o = a + b \cdot (W \cdot R_s)$	$a; b; W; R_s$	Borges et al. (2012)
15	Makkink	$ET_o = R_s \cdot \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}\right) + 0,12$	$R_s; \Delta; \gamma$	Cunha et al. (2017)
16	Radiação Líquida	$ET_o = 0,86 \cdot \left(\frac{R_n}{\lambda}\right)$	$R_n; \lambda$	Cunha et al. (2017)
17	Evaporímetro de Piché	$ET_o = \left(\frac{0,28 \cdot P_i}{1 - w}\right)$	$P_i; w$	Fernandes et al. (2011)
18	Tanque de Evaporação-FAO	$ET_o = K_p \cdot ECA$	$K_p; ECA$	Medeiros et al. (2002)
19	Benavides-Lopez	$ET_o = 1,21 \cdot 10^{\left(\frac{7,45 \cdot T}{243,7 + T}\right)} \cdot (1 - 0,01 \cdot UR) + 0,21 \cdot T - 2,30$	$T; UR$	Borges et al. (2012)
20	Hamon	$ET_o = 0,55 \cdot \left(\frac{N}{12}\right)^2 \cdot \left(\frac{4,93 \cdot \exp(0,062 \cdot T)}{100}\right) \cdot 25,4$	$N; T$	Borges et al. (2012)
21	Jensen-Haise	$ET_o = R_s \cdot (0,0252 \cdot T + 0,078)$	$R_s; T$	Moura et al. (2013)
22	Radiação solar	$ET_o = C_v \cdot W \cdot R_s$	$C_v; W; R_s$	Moura et al. (2013)

Continua:

Continuação: TABELA 1.1 – PRINCIPAIS MÉTODOS INDIRETOS UTILIZADOS PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA.

Nº	Modelo	Fórmula	Variáveis ⁽¹⁾	Fonte
23	Moretti-Jerszurki-Silva	$ET_o = a + b \cdot \Psi_{ar}$	$a; b; \Psi_{ar}$	Jerszurki et al. (2017)
24	Moretti-Jerszurki-Silva	$ET_o = a + b \cdot Ee$	$a; b; Ee$	Jerszurki et al. (2017)
25	Moretti-Jerszurki-Silva-quadrático	$ET_o = a \cdot \Psi_{ar}^2 + b \cdot \Psi_{ar} + c$	$a; b; c; \Psi_{ar}$	Souza et al. (2021)
26	Moretti-Jerszurki-Silva-quadrático	$ET_o = a \cdot Ee^2 + b \cdot Ee + c$	$a; b; c; Ee$	Souza et al. (2021)
27	Linacre	$ET_o = \frac{\frac{J \cdot (T + 0,006 \cdot z)}{100 - \varphi} + 15 \cdot (T - T_{po})}{80 - T}$	$J; T; z; T_{po}; \varphi$	Tanaka et al. (2016)
28	McGinness-Bordne	$ET_o = \left(\frac{Ra}{\lambda \cdot \rho} \right) \cdot \left(\frac{T + 5}{68} \right)$	$Ra; T; \lambda; \rho$	Tanaka et al. (2016)
29	Kharrufa	$ET_o = 0,34 \cdot p \cdot T$	$p; T$	Rocha et al. (2015)
30	Turc	$ET_o = 0,013 \cdot \frac{T}{T + 15} \cdot (23,88 \cdot Rs + 50)$	$T; Rs$	Carvalho et al. (2015)
31	McCloud	$ET_o = 0,254 \cdot 1,07^{(1,8 \cdot T)}$	T	Cunha et al. (2017)
32	Blaney Criddle	$ET_o = p \cdot (0,457 \cdot T + 8,13)$	$P; T$	Tangune et al. (2017)
33	Abtew	$ET_o = \frac{0,53}{\lambda} \cdot R_s$	$Rs; \lambda$	Tangune et al. (2017)
34	Ivanov	$ET_o = 0,006 \cdot (25 + T)^2 \cdot \left(1 - \frac{UR}{100} \right)$	$T; UR$	Gonçalves et al. (2009)
35	Romanenko	$ET_o = 18 \cdot 10^{-4} \cdot (25 + T)^2 \cdot (100 - UR)$	$T; UR$	Santos Jesus et al. (2014)

⁽¹⁾ $T_{m\acute{a}x}, T_{m\acute{i}n}, T, T_{ef}$ – temperatura máxima, mínima, média e efetiva diária do ar, respectivamente (°C); Δ – declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar (kPa °C⁻¹); UR – umidade relativa do ar (%); u_2 – velocidade do vento a dois metros de altura (m s⁻¹); Rs – radiação solar incidente (MJ m⁻² dia⁻¹); Rn – saldo de radiação ou radiação líquida na superfície (MJ m⁻² dia⁻¹); G – balanço do fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); γ – constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); es – pressão de saturação de vapor (kPa); ea – pressão atual do vapor (kPa); P – pressão atmosférica (kPa); Ra – radiação solar extraterrestre (MJ m⁻² dia⁻¹); N – Fotoperíodo (horas); ND – número de dias do período analisado; I – índice de calor anual (adimensional); F – fator de ajuste em função da temperatura média anual do local (adimensional); Cn – constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados; Cd – constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados; W – fator de ponderação; p – percentagem de horas dias (anual); fc – fator de correção (adimensional); a – coeficiente linear ou quadrático (mm h⁻¹ MPa⁻²); b – coeficiente angular linear ou quadrático (mm h⁻¹ MPa⁻¹); c – coeficiente quadrático (mm h⁻¹); λ – Calor latente de vaporização (MJ kg⁻¹); P_i – evaporação obtida no evaporímetro de Piché (mm d⁻¹); ECA – evaporação do tanque classe A (mm dia⁻¹); K_p – coeficiente do tanque; Cv – fator de ajuste que varia em função dos intervalos de velocidade do vento e umidade relativa; Ψ_{ar} – potencial hídrico atmosférico (MPa); Ee – evaporação equivalente de água (mm período⁻¹); z – altitude local (m); φ – latitude local (graus); ρ – massa específica da água (kg m⁻³).

Contudo, existem variações do modelo *PM-FAO* visando melhorar o seu desempenho para diferentes condições da cultura de referência e periodicidade das estimativas. Dentre as variações apresentadas na literatura, o modelo da *American Society of Civil Engineers* (ASCE; ASCE-EWRI, 2005) realiza estimativas da *ET_o* para períodos diários e horários, conforme os tipos de superfícies de referência: cultura agrícola de porte baixo (grama cortada; 0,12 m); e cultura agrícola mais alta e áspera (alfafa; 0,50 m). As culturas são identificadas no modelo conforme os valores das constantes relacionadas à superfície de referência *C_n* e *C_d* (TABELA 1.2), sendo recomendado valor de *C_d* para período diurno e noturno, em análise horária (Gavilán et al., 2007; Carvalho et al., 2011; Alencar et al., 2015; Lacerda e Turco, 2015).

TABELA 1.2 – CONSTANTES RELACIONADAS À SUPERFÍCIE DE REFERÊNCIA E INTERVALO DE TEMPO ADOTADOS NO MÉTODO ASCE-PM.

Periodicidade	Altura ou porte	Constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotado	
		<i>C_n</i>	<i>C_d</i>
Diária	Baixo	900 K mm s ³ Mg ⁻¹ dia ⁻¹	0,34 s m ⁻¹
	Alto	1600 K mm s ³ Mg ⁻¹ dia ⁻¹	0,38 s m ⁻¹
Horária	Baixo	37 K mm s ³ Mg ⁻¹ h ⁻¹	0,24 s m ⁻¹ para dia 0,96 s m ⁻¹ para noite
	Alto	66 K mm s ³ Mg ⁻¹ h ⁻¹	0,25 s m ⁻¹ para dia 1,70 s m ⁻¹ para noite

Sendo: *C_n* e *C_d* – constantes relacionadas à superfície de referência e intervalo de tempo adotado.
FONTE: Adaptado de ASCE-EWRI (2005).

Quando os parâmetros de entrada do modelo ASCE padrão (*U_R*, *T*, *u₂* e *R_n*) não estão disponíveis, modelos alternativos (adaptados ou reduzidos) que necessitam de menor número de variáveis também podem ser utilizados, tais como: Turc (Turc, 1961); Camargo (Camargo, 1971); Hargreaves e Samani (Hargreaves e Samani, 1985); metodologias que fazem associação de imagens de satélite com dados de temperatura do solo (Shwetha e Kumar, 2018); Penman-Monteith-Reduzido (*PMR*; Paredes et al., 2020); Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*; Souza et al., 2021); entre outros (TABELA 1.1).

Contudo, estimativas de séries de *ET_o* em periodicidade horária, apesar de serem apontadas como mais precisas (Treder e Klamkowski, 2017; Nolz e Rodný, 2019; Santos et al., 2021b; Souza et al., 2021), precisam de ajustes e testes. Atualmente, séries de *ET_o* estimadas considerando apenas a temperatura do ar estão ganhando interesse, pois possibilitam estimativas em regiões remotas (sem estação

meteorológica), em diferentes periodicidades e para grandes áreas. Além disso, são métodos passíveis de adaptação para serem utilizados com dados obtidos por sensoriamento remoto, facilitando as estimativas (Shwetha e Kumar, 2018; Paredes et al., 2020).

Não são muitos os modelos que possibilitam a estimativa horária e diária da *ETo*. O modelo Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*; Jerszurki et al., 2017) possibilita realizar as estimativas com os procedimentos de cálculo que consideram o potencial hídrico atmosférico (Ψ_{ar} ; Equação 23 e 25 da TABELA 1.1; tendo como entrada dados de UR e T), e Ψ_{ar} e radiação solar no topo da atmosfera (Ψ_{ar} e Ra ; Equação 24 e 26 da TABELA 1.1; tendo como dados de entrada a T , UR e Ra). Contudo, como os valores horários da Ra no período noturno são iguais a zero, a estimativa da *ETo* noturna com as Equações 24 e 26 não é possível, pois a evaporação equivalente de água (Ee) depende diretamente da Ra como entrada. Desta forma, o método que utiliza apenas o Ψ_{ar} (Equação 23 e 25) é a alternativa mais interessante quando também pretende-se avaliar o período noturno. O *MJS* também pode ter seus parâmetros calibrados com as funções linear ou polinomial do segundo grau (Equações 23 a 26 da TABELA 1.1), conforme apresentado por Souza et al. (2021). Santos et al. (2021b) consideraram que o modelo *MJS* horário necessitou do ajuste de descompasso em relação ao modelo *ASCE* padrão, tornando-se essencial a realização de análises de verificação (calibração) horária para cada localidade avaliada.

O modelo Turc (1961) modificado por Fisher e Pringle (2013) possibilita estimativas diárias da *ETo* e, com modificações adequadas, também pode ser utilizado para realizar estimativas na periodicidade horária. O modelo Turc (1961) é interessante, pois necessita apenas de dados da T e Rs . Contudo, a necessidade da Rs pode ser uma restrição bem limitante à sua utilização.

O modelo *PMR* (Paredes et al., 2020) também pode ser adaptado para estimar a *ETo* horária. Embora o modelo reduzido necessite das mesmas variáveis de entrada que o modelo *ASCE* padrão, a alternativa de utilizar apenas a temperatura do ar como variável de entrada no modelo é algo interessante de ser analisado, pois as demais variáveis podem ser assumidas como iguais a média de determinado período da série.

Os modelos adaptados/reduzidos são interessantes, pois possibilitam a substituição de metodologias que exigem muitas variáveis de entrada. Assim, torna-

se possível a realização de estudos em localidades remotas ou em grandes áreas a serem espacializadas, em que a série de dados meteorológicos são de difícil obtenção ou indisponíveis, ou apresentam grandes falhas. Silva (2021) realizou estudo sobre a espacialização da ET_o em grandes áreas, utilizando modelos reduzidos em associação com imagens de satélite. O trabalho foi considerado nos estudos de Paredes et al. (2020) e Paredes et al. (2021), que estabeleceram a metodologia denominada modelo “Penman-Monteith Reduzido (PMR)”. Nas análises, o PMR possibilitou estimar a ET_o diária espacializada, tendo como entrada a temperatura do ar e médias das demais variáveis meteorológicas necessárias. Conforme os autores, o modelo reduzido facilitou a estimativa da ET_o , pois a utilização de médias das variáveis possibilitou a substituição do modelo $ASCE$ padrão quando as variáveis climáticas necessárias como entrada não estão disponíveis. É importante observar que a falta de dados ocorre frequentemente em estudos envolvendo grandes áreas ou que sejam realizados em regiões remotas.

Métodos reduzidos são interessantes por possibilitarem análises em locais remotos, visto que as médias dos parâmetros podem ser extrapoladas conforme igualdade de classificação climática e proximidade de coordenadas. Porém, nos modelos em que não há calibração, pode haver menor precisão dos resultados, sendo necessária a realização de avaliações (Rosa, 2023; Oliveira, 2018).

1.1.2 Seleção do modelo MJS linear ou quadrática de melhor ajuste

Oliveira (2018) verificou a possibilidade de ajuste linear e quadrático do modelo MJS em análise de regressão entre “ ET_{oPM} vs Ψ_{ar} ”, na periodicidade horária. Contudo, acredita-se que há a necessidade do estabelecimento de critérios para a seleção do modelo linear ou quadrático do MJS , o que não foi explorado no trabalho de Oliveira (2018).

Para a comparação entre polinômios, NASA (2009) considera que em ajustes iguais estatisticamente é preferível escolher o polinômio de grau menor (coeficientes), por explicar o fenômeno com maior simplicidade. Assim, mesmo nos casos em que a correlação quadrática do MJS seja maior, há necessidade de critérios de escolha, pois se o modelo linear for tão bom quanto o quadrático (apresentando diferença não significativa entre as correlações linear e quadrática), deve-se selecionar o modelo

mais simples (linear). Estudos de significância consideram níveis de 0,05 e 0,01 em análises de correlação canônica (Oliveira, 2014). Diante disso, e do fato que na literatura ainda não constam relatos de significância a ser abordada para seleção de dados, acredita-se que a verificação da existência ou não de diferença entre 5 e 10% entre as correlações lineares e quadráticas obtidas nas relações “ ETo_{ASCE} vs Ψ_{ar} ” seja um critério consistente.

Após a seleção do modelo de melhor ajuste, realiza-se o processo de calibração, em que são obtidos os coeficientes “ a ” e “ b ” se o modelo *MJS* for linear, ou “ a ”, “ b ” e “ c ” se for o modelo *MJS* quadrático.

Além da escolha do modelo *MJS* de melhor ajuste (linear ou quadrático), deve-se considerar também que pode ocorrer descompasso entre as *ETo* estimadas com os modelos *ASCE* padrão e *MJS*. O descompasso refere-se à diferença de tempo entre os horários de ocorrência das *ETo* estimadas com os modelos *ASCE* padrão e *MJS*, conforme observado por Santos et al. (2021b). Santos et al. (2021b) encontraram descompasso de aproximadamente duas horas entre os valores de *ETo* horária obtidas com os modelos *MJS* e *ASCE* padrão, para os climas *Cfa* e *Cfb* considerados no estudo. Conforme os autores, para melhor precisão das estimativas, também seria importante verificar o descompasso do modelo alternativo *MJS* para os demais tipos climáticos brasileiros. A análise do descompasso consiste basicamente em verificar a tendência central dos valores de *ETo* horários, ao longo do dia, estimados com os modelos *MJS* e *ASCE* padrão. Havendo descompasso, o novo ajuste dos parâmetros é realizado numericamente em análise de regressão linear entre os respectivos valores de *ETo* dos modelos *MJS* (com ajuste) e *ASCE* padrão, tendo como critério de escolha o coeficiente de correlação (r) e a proximidade da reta de regressão com a reta de 45°. Seleciona-se os parâmetros do modelo *MJS* que proporcionar os menores desvios e melhor tendência central.

A análise de regressão também é essencial para validação do modelo de estimativa da *ETo* (ETo_{ASCE} vs $ETo_{alternativa}$) calibrado (Turkman e Silva, 2020). As regressões devem ser realizadas em conjunto com as análises de indicadores estatísticos, como a “Raiz quadrada do erro quadrado médio” (*RMSE*), “Coeficiente de correlação” (r) e “Eficiência de Nash-Sutcliffe” (*NSE*) (Tegos et al., 2017; Paredes et al., 2020; Paredes et al., 2021; Souza et al., 2021; Santos et al., 2021b).

1.1.3 Sistemas para avaliação de dados e estimativa da *ETo*

A utilização de modelos matemáticos para a estimativa da *ETo* exige atenção e cuidado para não ocorrer erros nos cálculos, principalmente quando houver a necessidade de calibração do modelo escolhido. Por isso, a utilização de programas que possibilitem a automatização e estimativas mais precisas de séries de *ETo* tem despertado cada vez mais o interesse de pesquisadores e técnicos da área. Na literatura encontram-se referências da utilização do código “*Fortran Morton WREVP*” (McMahon et al., 2013), pacote R “*Evapotranspiration*” (Guo et al., 2016) e *Software* “*FAO ETo calculator*” (Raes, 2009). Outro aspecto importante no desenvolvimento de programas é a possibilidade de realizar a estimativa de parâmetros que não estão disponíveis nas localidades estudadas. Contudo, nem todos os programas disponíveis apresentam facilidades para analisarem séries mais longas de *ETo* (estimativa de séries diárias e horárias), e poucas opções são gratuitas, fato que dificulta a utilização dos mesmos.

Bandyopadhyay et al. (2012) consideraram que o número de modelos matemáticos disponíveis e voltados à estimativa da *ETo* torna impraticável a seleção do modelo mais adequado para as mais diversas localidades e climas existentes. Tal afirmativa baseou-se no fato de que o desempenho dos métodos de estimativa *ETo* varia conforme as condições climáticas e disponibilidade de dados, bem como a exigência de dados de entrada varia conforme o modelo (Biju et al., 2002).

Conforme disponibilidade e qualidade dos dados climáticos, existem alguns sistemas de apoio à decisão que permitem verificar quais equações são mais adequadas para determinada localidade (Biju et al., 2002; Bandyopadhyay et al., 2012). Contudo, são sistemas que geralmente calculam a *ETo* para a periodicidade diária e mensal. Desta forma, acredita-se que ainda exista a necessidade de estudos e o desenvolvimento de sistemas que envolvam modelos para estimativa da *ETo* na periodicidade horária, além da diária e mensal. Yildirim et al. (2004) e Santos et al. (2021b) enfatizaram importância da análise da *ETo* horária, a qual possibilita estimativas mais precisas e flexibilidade para a gestão agrícola, além de permitir melhores análises sobre as tendências centrais do fenômeno ao longo das 24 horas do dia. Santos et al. (2021b) consideraram também que metodologias alternativas que estimam *ETo* na escala horária ainda estão em fase inicial em algumas regiões brasileiras.

1.1.4 Seleção das estações meteorológicas automáticas do banco de dados

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) disponibiliza dados de estações meteorológicas de superfície, localizadas ao longo do território e climas brasileiros (TABELA 1.3; FIGURA 1.1). Rosa (2023) verificou que os dados climáticos medidos em estações meteorológicas de superfície tendem a ser mais precisos que os estimados por sensoriamento remoto.

No entanto, não basta que os dados climáticos sejam de estações meteorológicas de superfície. Critérios devem ser adotados para a escolha das melhores estações e série de dados, para compor um banco de dados de qualidade a ser considerado em um estudo (Brönnimann, 2015; Rosa, 2023).

Conforme o objetivo, para realização dos Capítulos II, III e IV da presente tese, foram necessárias séries de dados climáticos de diversas estações meteorológicas. Assim, para não utilizar dados inconsistentes e a escolha da estação não ser tendenciosa, critérios de seleção foram estabelecidos. Os critérios utilizados para a seleção das estações meteorológicas de superfície foram:

- I) A estação de superfície deve apresentar “falhas inferiores a 25% do total de dados horários da série, para cada variável climática” (APÊNDICE 1, TABELA A1.2);
- II) Não apresentar falha integral de todos os dados medidos em uma das estações do ano (APÊNDICE 1, FIGURAS A1.2 a A1.10);
- III) Não apresentar falha integral de todos os dados medidos nas 24 horas do dia; e,
- IV) Não apresentar *outlier* (APÊNDICE 1, FIGURAS A1.11 a A1.19).

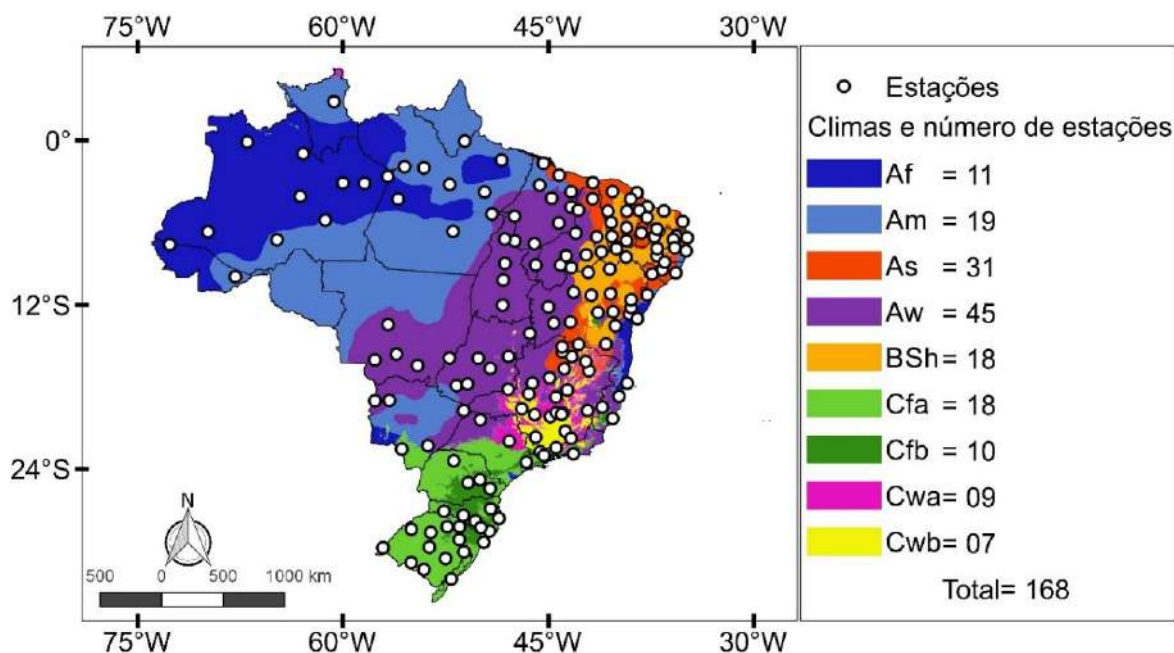
Os critérios foram estabelecidos baseando-se em Santos et al. (2021a), que considerou vários aspectos sobre a importância de critérios de escolha de estações meteorológicas, para que o banco de dados utilizado seja representativo do ambiente, para o estudo da evapotranspiração horária; e Valladares Neto (2017), que ressaltou a qualidade da análise de dados em *boxplot* para detecção de *outliers*. Os Critérios I e II foram aplicados aos dados por meio de funções e análise gráfica, realizada com ferramentas disponíveis em planilha eletrônica (Excel, 2010). O Critério III foi aplicado por meio do *software* R, em interface RStudio (RStudio Team, 2023; versão 4.2.3) e pacote “*ggplot2*” (Wickham et al., 2022), com a função “*boxplot*”.

TABELA 1.3 – DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS.

Climas	Descrição de cada clima considerado
<i>Af</i>	Tropical sem estação seca: temperatura média do mês mais quente superior a 18 °C. O total das chuvas do mês mais seco é superior a 60 mm, com precipitações maiores entre março e agosto, ultrapassando 1500 mm por ano;
<i>Am</i>	Tropical de monção: precipitação anual acima de 3300 mm, temperatura média anual de 27,6 °C, variando sazonalmente entre 25,8 a 29,0 °C;
<i>As</i>	Tropical com verão seco: precipitação entre 1600 a 1900 mm por ano, temperatura média anual entre 19 e 20 °C;
<i>Aw</i>	Tropical com estação seca de inverno: precipitação entre 1600 a 1900 mm por ano, temperatura média anual entre 19 e 20 °C;
<i>BSh</i>	Semiárido seco: de baixa latitude e altitude, escassez e irregularidade na distribuição de chuvas, sendo estas entre 250 e 750 mm por ano, e temperatura média anual de 27 °C;
<i>Cfa</i>	Subtropical úmido: verão quente, boa distribuição de precipitação anual, média de 1500 mm, e temperatura média anual de 19 °C;
<i>Cfb</i>	Subtropical úmido com verão temperado: precipitação anual bem distribuída, superior a 1200 mm ano ⁻¹ , e verões amenos com temperatura média anual de 17 °C;
<i>Cwa</i>	Subtropical úmido com inverno seco e verão quente: precipitação anual inferior a 700 mm, com janeiro sendo o mês mais quente e julho o mais frio, tendo médias de temperatura do ar entre 23,5 °C e 17,5 °C, respectivamente;
<i>Cwb</i>	Subtropical úmido com Inverno seco e verão temperado: precipitação média anual de 700 mm e temperatura média anual de 19,3 °C.

Fonte: Adaptado de Álvares et al. (2013) e Köppen (1936).

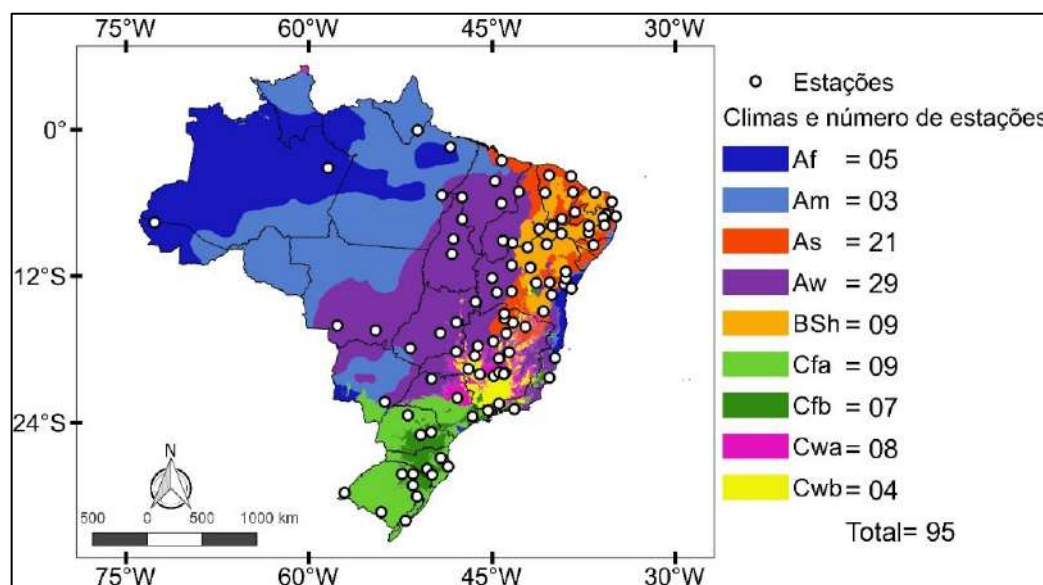
FIGURA 1.1– DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS 168 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS DO INMET ANALISADAS, E QUANTIFICAÇÃO DAS ESTAÇÕES POR TIPO CLIMÁTICO BRASILEIRO CONFORME A CLASSIFICAÇÃO DE KÖPPEN (1936).



FONTE: O autor (2024).

Com a aplicação dos critérios, das 168 estações meteorológicas existentes, apenas 95 foram selecionadas (FIGURA 1.2).

FIGURA 1.2– DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS 95 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS DO INMET, POR TIPO CLIMÁTICO BRASILEIRO, CONFORME A CLASSIFICAÇÃO DE KÖPPEN (1936), SELECIONADAS APÓS A APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO ESTABELECIDOS.



FONTE: O autor (2024).

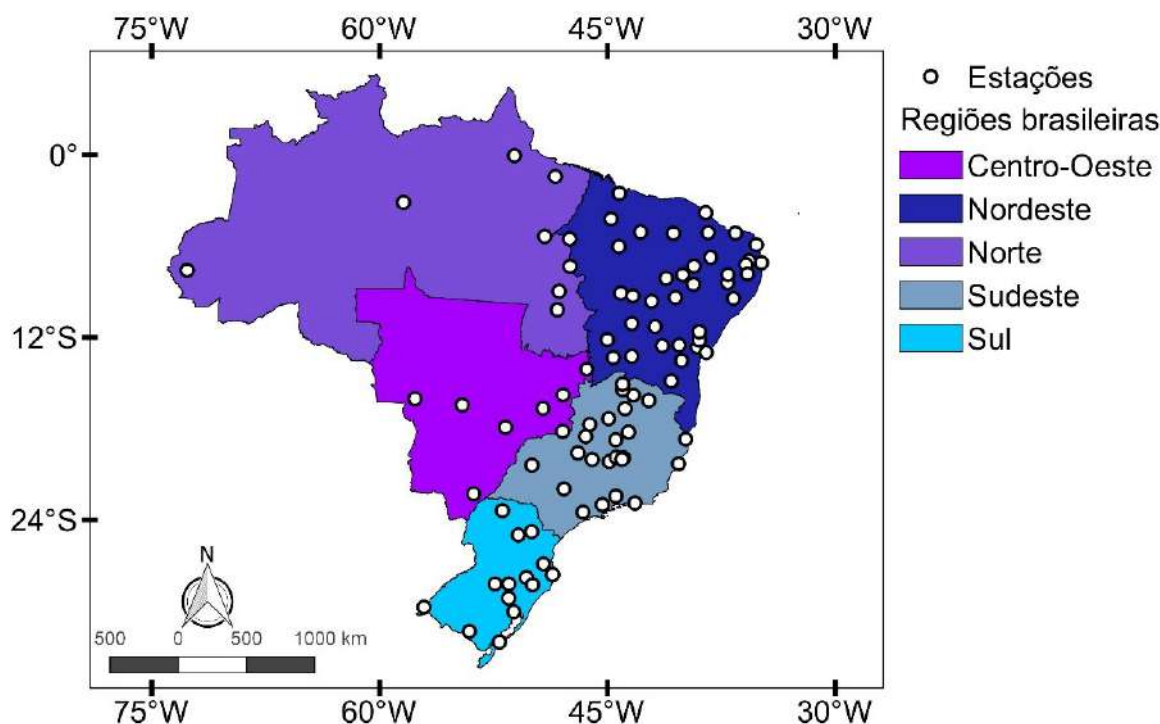
Aplicando-se os Critérios de Seleção estabelecidos nas estações meteorológicas analisadas, a Região Norte do Brasil (onde predominam os tipos climáticos *Am* e *Af*, FIGURAS 1.2 e 1.3) apresentou as maiores falhas no banco de dados das estações meteorológicas (82 estações meteorológicas foram excluídas, o que correspondeu à 58% do número total; TABELA 1.4), resultando na Região de menor cobertura por estações meteorológicas, seguida da região Centro-Oeste (FIGURA 1.3).

TABELA 1.4 – DISPONIBILIDADE DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET), POR TIPO CLIMÁTICO E PORCENTAGEM DE EXCLUSÃO APÓS APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DAS ESTAÇÕES.

Climas	Estações disponíveis	Estações selecionadas	Excluídas
<i>Af</i>	12	5	58%
<i>Am</i>	17	3	82%
<i>As</i>	31	21	32%
<i>Aw</i>	46	29	37%
<i>BSh</i>	18	9	50%
<i>Cfa</i>	18	9	50%
<i>Cfb</i>	10	7	30%
<i>Cwa</i>	9	8	11%
<i>Cwb</i>	7	4	43%
Total	168	95	43%

Fonte: O autor (2024).

FIGURA 1.3 – DISTRIBUIÇÃO E COBERTURA ESPACIAL DAS 95 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS, CONFORME AS REGIÕES BRASILEIRAS: NORTE; NORDESTE; CENTRO-OESTE; SUDESTE; E, SUL.



Fonte: O autor (2024).

Santos et al. (2020), analisando séries de dados meteorológicos brasileiros de diferentes fontes, observou que o INMET apresentou boa distribuição espacial de estações meteorológicas na região Norte, mas parte delas se encontravam em local remoto, sendo comum ocorrência de falhas e perda de dados. Os autores verificaram também grandes áreas sem estações próximas na região Norte, dificultando a viabilidade da utilização de valores médios de variáveis meteorológicas, bem como baixa cobertura espacial das estações da região Centro-Oeste (com predominância dos tipos climáticos *Am* e *Aw*; FIGURAS 1.2 e 1.3). Desta forma, após a aplicação dos Critérios de Seleção propostos, a região foi a mais prejudicada e apresentou a pior cobertura espacial de estações meteorológicas, principalmente por possuir a maior área do território brasileiro. Apesar disso, a seleção permitiu boa representatividade climática das estações que foram selecionadas, mediante a melhor qualidade dos dados.

Selecionadas as estações meteorológicas, torna-se pertinente também verificar as medidas de tendência central (médias) das variáveis de estudo, por clima (APÊNDICE 4; FIGURAS A4.1 a A4.4), bem como por estação do ano (APÊNDICE 4;

FIGURAS A4.5 a A4.8). A análise das médias é importante para verificar se o período (ano) analisado não corresponde à uma fase atípica (*outlier*), em que os dados fogem da representatividade do respectivo clima (Santos et al., 2020). A necessidade de avaliar grandes séries de dados soma-se à dificuldade da verificação de falhas ou à ocorrência de *outliers*.

Diante da espacialização das estações meteorológicas aptas para serem utilizadas no presente estudo (FIGURA 1.3) e objetivo de cada Capítulo da tese, foram selecionados e utilizados as seguintes estações e períodos de dados meteorológicos nas análises:

Capítulo II – Nove estações meteorológicas foram selecionadas, sendo utilizados dados do período entre 01/01/2020 e 31/12/2020;

Capítulo III – Noventa e uma estações meteorológicas foram selecionadas, sendo utilizados dados do período entre 01/01/2017 e 31/12/2020; e,

Capítulo IV – Vinte e sete estações meteorológicas foram selecionadas, sendo utilizados dados do período entre 01/01/2017 e 31/12/2020.

1.2 REFERÊNCIAS

ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Revista Engenharia Agrícola**. v.35, n.1, p.39-50. 2015. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430>.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage**, Roma, FAO, Paper n.56, 1998.

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O.; WRIGHT, J. L.; HOWELL, T. A.; VENTURA, F.; et al. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ET_o by the FAO56 Penman-Monteith method. **Agricultural Water Management**, v.8, n.2, p.1-22. 2006.

ÁLVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. J.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, p.711-728. 2013.

ASCE-EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Report of the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. Reston: **Institute of the American Society of Civil Engineers**; 2005.

BANDYOPADHYAY, A.; BHADRA, A.; SWARNAKAR, R. K.; RAGHUWANSHI, N. S.; SINGH, R. Estimation of reference evapotranspiration using a user-friendly decision support system: DSS ET. **Agricultural and Forest Meteorology**. p.19-29. 2012.

BERENGENA, J.; GAVILÁN, P. Reference Evapotranspiration Estimation in a Highly Advective Semiarid Environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering** v.131, n.2, p.147-163. 2005.

BIJU, A. G.; REDDY, B. R. S.; RAGHUWANSHI, N. S.; WALLENDER, W. W. Decision Support System for Estimating Reference Evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. v.128, n.1, p.1-10. 2002.

BORGES, J. 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 Engenharia Agrícola Ambiental**, v.16, n.4, p.380-390, 2012.

BRÖNNIMANN, S. **Climatic Changes Since 1700**. In: Advances in Global Change Research, v. 55, p. 167-321. Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-19042-6_4.

CAMARGO, A. P. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. 3.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1971. 24p. (Boletim,116).

CAMARGO, A. P. et al. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e super úmidos, com base na amplitude térmica diária. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*.v.7, n.2, p.251-257, 1999.

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

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária**. Trop., Goiânia, v.41, n.3, p.456-465. 2011.

CUNHA, F. F.; MAGALHÃES, F. F.; CASTRO, M. A. A; SOUZA, E. J. Performance of estimative models for daily reference evapotranspiration in the city of cassilândia, Brazil. **Engenharia Agrícola**. v.37, n.1, p.173-184, jan./fev. 2017.

DHUNGEL, R.; AIKEN, R.; COLAIZZI, P. D.; LIN, X.; et al. Increased Bias in Evapotranspiration Modeling Due to Weather and Vegetation Indices Data Sources. Published in **Agronomy Journal**, v.3, p.1407-1424. 2019.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. C. Crop water requirements: guidelines for predicting. **FAO Irrigation and drainage paper** 24. 1977.

EMEKA, N.; IKENNA, O.; OKECHUKWU, M.; CHINENYE, A.; EMMANUEL, E. Sensitivity of FAO Penman-Monteith reference evapotranspiration (ET_o) to climatic variables under different climate types in Nigeria. *Journal of Water and Climate Change*, v.12, n.3, p.858-878, 2021. DOI: 10.2166/wcc.2020.200

EXCEL. Microsoft Office Excel 2010. Disponível em: < <https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft-365/previous-versions/microsoft-excel-2010>>.

FERNANDES, A. L. T.; FRAGA, J. E. F.; TAKAY, B. Y. Avaliação do método Penman-Piche para a estimativa da evapotranspiração de referência em Uberaba, MG. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.15, n.3, p.270-276, 2011.

FISHER, D. K.; PRINGLE, H. C. Evaluation of alternative methods for estimating reference evapotranspiration. **Agricultural Sciences**. v.4, p.51-60. 2013. DOI: 10.4236/as.2013.48A008.

GAVILÁN, P.; BERENGENA, J.; ALLEN, R. G. Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: impact on Penman-Monteith reference ET estimates in semiarid regions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.89, n.3, p. 275-286, 2007.

GONÇALVES, F. M.; FEITOSA, H. O.; CARVALHO, C. M.; FILHO, R. R. G.; VALMIR JÚNIOR, M. Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v.3, n.2, p.71-77, 2009.

GUO, D.; WESTRA, S.; MAIER, H. R. An R package for modelling actual, potential and reference evapotranspiration. **Environmental Modelling & Software**. v.78, p.216-224, 2016.

GURSKI, B. C.; JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M. Alternative Methods of Reference Evapotranspiration for Brazilian Climate Types. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.33, n.3, p.567-578, 2018.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v.1, n.2, p.96-99. 1985. DOI:10.13031/2013.26773.

JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M.; SILVA, L. C. R. Expanding the geography of evapotranspiration: An improved method to quantify land-to-air water fluxes in tropical and subtropical regions. **PLOS ONE**, v.12, n.6, 2017. DOI:10.1371/journal.pone.0180055.

JI, X. B.; CHENC, J. M.; ZHAOA, W. Z.; KANGA, E. S.; JINA, B. W; XUD, S.Q. Comparison of hourly and daily Penman-Monteith grass- and alfalfa-reference evapotranspiration equations and crop coefficients for maize under arid climatic conditions. Contents lists available at ScienceDirect. **Agricultural Water Management**, p.1-11. 2017. DOI:10.1016/j.agwat.2017.06.019.192.

KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate**. – Koppen WR. GEIGER – Gebruder Borntrager, Berlin, (Eds.): Handbuch der Klimatologie, part C. v.1, p.1-44. 1936.

LACERDA, Z. C.; TURCO, J. E. P. Estimation methods of reference evapotranspiration (ET_o) for Uberlândia-MG. **Revista Engenharia Agrícola**, v.35, n.1, p.27-38. 2015. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430>

LECINA, S.; MARTINEZ-COB, A.; PEREZ, P. J.; VILLALOBOS, F. G.; BASELGA, J. J. Fixed versus bulk canopy resistance for reference evapotranspiration estimation using the Penman-Monteith equation under semiarid conditions. **Agricultural Water Management**, v.60, n.3, p.181-198. 2003. DOI: 10.1016/S0378-3774(02)00174-9.

LOPES, I.; LEAL, B. G. Evapotranspiração horária x diária utilizando Penman-Monteith para o polo de desenvolvimento Petrolina-PE/Juazeiro-BA. **Revista Brasileira e Agricultura Irrigada**, v.10, n.5, p. 914-924. 2016.

LÓPEZ-URREA, R.; OLALLA, F. M. S.; FABEIRO, C.; MORATALLA, A. An evaluation of two hourly reference evapotranspiration equations for semiarid conditions. **Agricultural Water Management**, v.86, n.3, p.277-282. 2006.

MAKKINK, G. F. Ekzamento de la formulo de Penman. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v.5, p. 290-305, 1957.

MCMAHON, T. A.; PEEL, M. C.; LOWE, L.; SRIKANTHAN, R.; MCVICAR, T. R. Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.17, p.1331-1363. 2013.

MEDEIROS, A. T. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraíba, CE. **Tese doutorado**, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Divisão de biblioteca e documentação- ESALQ/USP. 2002.

MOURA, A. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D. A.; AZEVEDO, J. R. G.; SILVA, B. B.; OLIVEIRA, L. M. M. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no Estado de Pernambuco - Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.2, p.181-191, 2013.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. Simple Linear Regression and Correlation. p.401-512. 2009. Disponível em: <<http://www.leg.ufpr.br/~walmes/ensino/ce071-2014-01/cap11e12.pdf>> Acesso em 17 de janeiro de 2022.

NOIA, C. P. Z.; PEREIRA, S. B.; ROSA, D. R. Q.; ALMEIDA, R. A. Evapotranspiração de referência estimada pelos métodos Penman-Monteith-FAO (56) e Hargreaves & Samani para o município de Dourados, MS. Dourados, Revista Agrarian, v.7, n.24, p.300-308, 2014. ISSN: 1984-2538.

NOLZ, R.; RODNÝ, M. Evaluation and validation of the ASCE standardized reference evapotranspiration equations for a subhumid site in northeastern Austria. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**. v.67, n.3, p.289-296. 2019.

OLIVEIRA, M. C. Definição do nível de significância em função do tamanho amostral. **Dissertação** apresentada ao Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências. Programa de Pós-graduação de Estatística. São Paulo. 2014. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/45/45133/tde-23092014-160504/publico/Dissertacao_Mel_Final.pdf> Acesso em 23 de novembro de 2023.

OLIVEIRA, S. R. Ajuste do método Moretti-Jerszurki-Silva para estimar a evapotranspiração de referência diária e horária dos tipos climáticos brasileiros. **Tese (Doutorado)** - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Curitiba. 2018. Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/tese_2018_oliveira_s_r.pdf>. Acesso em 16 de abril de 2023.

PAREDES, P.; PEREIRA, L. S.; ALMOROX, J.; DAROUICH, H. Reference grass evapotranspiration with reduced data sets: Parameterization of the FAO Penman-Monteith temperature approach and the Hargeaves-Samani equation using local climatic variables. **Agricultural Water Management**. v.240, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106210>

PAREDES, P.; TRIGO, I.; BRUIN, H. de.; SIMÕES, N.; PEREIRA, L. Daily grass reference evapotranspiration with Meteosat Second Generation shortwave radiation and reference ET products. **Agricultural Water Management**, 2021.

PENMAN, H. L. Natural Evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, p.120-145. 1948. Doi:10.1098/rspa.1948.0037.

RAES, D. The ETo Calculator: Reference Manual, Version 3.1. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Land and Water Division, FAO, via delle Termi di Caracalla, Rome, Italy, p. 38. 2009.

ROCHA, I. P.; LIMA, N. S.; CHAGAS, R. M.; ALMEIDA, G. L. P. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Garanhuns, PE. **Revista GEAMA**. v.1, n.2. 2015.

ROSA, S. L. K. Alternativas para utilização e otimização do método ASCE Penman-Monteith na ausência de dados em quantidade e qualidade. **Tese (Doutorado em Ciência do Solo)**. 151p. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023. Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/tese_2023_rosa_s_l_k.pdf>. Acesso em 16 de abril de 2023.

RStudio Team. **RStudio: Integrated Development for R**. RStudio, PBC, Boston, MA. 2023. URL: <<http://www.rstudio.com/>>.

SANTOS JESUS, E. Avaliação da evapotranspiração na microrregião do Serifó: Uma contribuição metodológica/Edmir dos Santos Jesus. **Tese de doutorado**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-graduação em Ciências Climáticas. Natal, 2014.

SANTOS, A. A.; SOUZA, J. L. M. Desempenho de módulo automático para estimar séries de evapotranspiração de referência diária e horária. **Anais. CONVIBRA**, p. 1-11. 2020.

SANTOS, A. A.; SOUZA, J. L. M.; ROSA, S. L. K. Hourly and Daily Reference Evapotranspiration with ASCE-PM Model for Paraná State, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**. 2021a. ISSN 1982-4351. <https://doi.org/10.1590/0102-77863610009>

SANTOS, A. A.; SOUZA, J. L. M.; ROSA, S. L. K. Evapotranspiration with the Moretti-Jerszurki-Silva model for the Brazilian sub-tropical climate. **Hydrological Sciences Journal**, v.66, n.16, p.1-13, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1988610>

SANTOS, H. F. L.; COSTA, P. V. M.; ARAÚJO, M. L. L.; PIRES, F. O. T. S. B.; REGNIER, L.O. Que fonte de dados meteorológicos utilizar no Brasil? Que incerteza esperar? Uma comparação entre diferentes abordagens e variadas fontes de dados. VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar - Fortaleza, 01 a 05 de junho de 2020. Disponível em: < <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/754/754> >. Acesso em: 17 de janeiro de 2022.

SHWETHA, H. R.; KUMAR, D. N. Performance evaluation of satellite based approaches for the estimation of daily air temperature and reference evapotranspiration. *Hydrological Science Journal*. v.63, n.9, p. 1347-1367. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1505046>

SILVA, D. P. Associação espaço-temporal de variáveis meteorológicas com técnicas de sensoriamento remoto para estimativa da evapotranspiração. Curitiba, 2021. 173p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SOUZA, J. L. M.; JERSZURKI, D.; SCHAFER, R. F.; GURSKI, B. C.; SCHAFER, H. Balanço hídrico climatológico: precipitação e evapotranspiração de referência estimadas com metodologia alternativa. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.20, n.13, p.284-298, 2017.

SOUZA, J. L. M.; OLIVEIRA, S. R. ROSA, S. L.; JERSZURKI, D. Hourly reference evapotranspiration by Moretti-Jerszurki-Silva method using data from alternative station. **Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**. v.25, n.8, p.505-513. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n8p505-513>

SUBEDI, A.; CHÁVEZ, J. L.; ANDALES, A. A. Hourly Alfalfa Evapotranspiration Estimation Using Variable Bulk Surface Resistance. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.10, 2019. 12p.

TANAKA, A. A.; SOUZA, A. P.; KLAR, A. E.; SILVA, A. C.; GOMES, A. W. A. Evapotranspiração de referência estimada por modelos simplificados para o Estado do Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.51, n.2, p.91-104. 2016.

TANGUNE, B. F. Evapotranspiração de referência no estado de São Paulo: métodos empíricos, aprendizado de máquina e geoespacial / Bartolomeu Félix Tangune. 1982, T164e. Botucatu: [s.n.],2017. **Tese** (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. 2017.

TEGOS, A.; MALAMOS, N.; EFSTRATIADIS, A.; TSOUKALAS, I.; KARANASIOS, A.; KOUTSOYIANNIS, D. Parametric Modelling of Potential Evapotranspiration: A Global Survey. **Water**, 9 (795), p.1-22, 2017. DOI: 10.3390/w9100795

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, Nova Iorque, v.38, n.1, p.55-94. 1948.

TRAJKOVIC, S. Comparison of Radial Basis Function Networks and Empirical Equations for Converting from Pan Evaporation to Reference Evapotranspiration. **Hydrological Processes**, v.23, n.6, p.874-880. 2009.

TRAN, A. P.; RUNGEE, J.; FAYBISHENKO, B.; DAFFLON, B.; HUBBARD, S. S. Assessment of Spatiotemporal Variability of Evapotranspiration and Its Governing Factors in a Mountainous Watershed. *Water* v.11, 2019, 17p.

TREDER, W.; KLAMKOWSKI, K. An hourly reference evapotranspiration model as a tool for estimating plant water requirements. Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie. **Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich infrastructure and ecology of rural areas**, v.2, n.1, p.469-481. 2017. DOI: 10.14597/infraeco.2017.2.1.035.

TURC L. Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date. *Annals of Agronomy*. 1961. v.12, p.13-49.

TURKMAN, M. A. A.; SILVA, G. L. Modelos lineares generalizados: da teoria à prática. Minicurso do VII Congresso anual da Sociedade Portuguesa de Estatística. 2020. Disponível em: <<https://www.spestatistica.pt/publicacoes/publicacao/modelos-lineares-generalizados-da-teoria-pratica>>. Acesso em: 17 de janeiro de 2021.

VALLADARES NETO, J.; SANTOS, C. B.; TORRES, E. M.; ESTRELA, C. Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos. **Revista Odontologia Brasileira Central**. v.26, n.76, p.1-6. 2017.

VÁSQUEZ, C.; CÉLLERI, R.; CÓRDOVA, M.; CARRILLO-ROJAS, G.; CARRILLO-ROJAS, G. Improving reference evapotranspiration (ET_o) calculation under limited data conditions in the high Tropical Andes. *Agricultural Water Management*, v.262, 107439, 2022. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107439

VENTURA, F.; SPANO, D.; DUCE, P.; SNYDER, R. L. An evaluation of common evapotranspiration equations. **Irrigation Science**, v.18, p.163-170. 1999.

WEIB, M.; MENZEL, L. A global comparison of four potential evapotranspiration equations and their relevance to stream flow modelling in semi-arid environments. Published by Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union. **Adv. Geosci.**, v.18, p.15-23. 2008.

WICKHAM, H.; CHANG, W.; HENRY, L.; PEDERSEN, T. L.; TAKAHASHI, K.; WILKE, C.; WOO, K.; YUTANI, H.; DUNNINGTON, D. **Ggplot2: Create Elegant Data Visualizations Using the Grammar of Graphics**. R em interface RStudio, PBC, Boston, MA. 2022. URL: <https://ggplot2.tidyverse.org/>

YILDIRIM, Y. E.; CAKMAK, B.; KOSE, T. Comparison of hourly and daily reference evapotranspiration values for GAP project area. **Journal of Applied Sciences**, v.4, n.1, p.53-57. 2004.

2 CAPÍTULO II – ADAPTAÇÃO DE MÉTODOS E DESENVOLVIMENTO DE MÓDULOS COMPUTACIONAIS PARA ESTIMATIVA DE SÉRIES DIÁRIAS E HORÁRIAS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

2.1 RESUMO

Para facilitar e potencializar estudos com a evapotranspiração de referência (ET_o) com os modelos *ASCE* padrão e adaptados/reduzidos, teve-se por objetivo no presente estudo sistematizar e desenvolver módulos automatizados, destinados a calibrar e validar coeficientes e/ou parâmetros dos modelos e estimar séries de evapotranspiração de referência horária e diária. Os módulos foram desenvolvidos em planilha eletrônica, com auxílio da linguagem de programação *Visual Basic for Applications* (VBA-Macro). As atividades e análises indicaram a necessidade do desenvolvimento de dois módulos, que foram denominados: “Ajustes do modelo Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*) para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) horária” (*Módulo_{MJS-A}*); e, “Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) horária e diária com modelos padrão (*ASCE*) e alternativos” (*Módulo_{ET_o.h-d}*). O *Módulo_{MJS-A}* é suporte para calibração e validação de parâmetros necessários no *Módulo_{ET_o.h-d}*. Séries de ET_o horárias e diárias estimadas com os modelos *ASCE* e *MJS* no *Módulo_{ET_o.h-d}* foram comparados com os respectivos valores estimados no módulo “*©M..ET_o_{ASCE.e.MJS}* da Plataforma Moretti”. A ET_o diária *ASCE* e a interface do *Módulo_{ET_o.h-d}* também foram comparadas com o programa “*FAO ET_o Calculator*”. As análises foram realizadas com dados climáticos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de nove estações meteorológicas representativas dos tipos climáticos brasileiros (*Am, Af, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa* e *Cwb*), medidos no período entre 01/01/2020 e 31/12/2020. A qualidade das associações foi avaliada com indicadores estatísticos (coeficiente de correlação, r ; raiz quadrada do erro quadrado médio, *RMSE*; e, eficiência de Nash-Sutcliffe, *NSE*). Verificou-se que: *i*) *Módulo_{MJS-A}* e *Módulo_{ET_o.h-d}* possibilitam analisar grandes série de dados climáticos de forma rápida e precisa, além de realizar estimativas de ET_o na periodicidade diária e horária com modelos *ASCE* e alternativos (adaptados/reduzidos) em um mesmo ambiente de trabalho; *ii*) A interface intuitiva do *Módulo_{ET_o.h-d}* possibilitou agilidade na realização das estimativas das séries de ET_o diária e horária, e facilidade de manuseio, não necessitando instalação do módulo e arquivos em formatos específicos para importação de dados e exportação dos resultados; e *iii*) As associações entre os respectivos valores de ET_o estimados com o *Módulo_{ET_o.h-d}* em relação aos calculados com “*©M..ET_o_{ASCE.e.MJS}*” e “*FAO ET_o Calculator*” indicaram bom desempenho para periodicidade diária/horária e diária, respectivamente, mesmo o modelo *ASCE* e procedimentos metodológicos não sendo exatamente iguais entre os sistemas comparados.

Palavras-chave: Ciclo hidrológico. Relações hídricas. Modelagem. Programações. VBA-Macro. Agrometeorologia.

2.2 ABSTRACT

To facilitate and enhance studies with reference evapotranspiration (ET_o) with models ASCE standard and adapted/reduced, the objective of this study was to systematize and develop automated modules, designed to calibrate and validate coefficients and/or parameters of the models and estimate hourly and daily reference evapotranspiration series. The modules were developed in a spreadsheet, with the help of the Visual Basic for Applications (*VBA-Macro*) programming language. The activities and analyses indicated the need for the development of two modules, which were called: “Adjustments of the Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*) model for estimating hourly reference evapotranspiration (ET_o)” (*Module_{MJS-A}*); and, “Estimation of hourly and daily reference evapotranspiration (ET_o) with standard (*ASCE*) and alternative models” (*Module_{ET_o.h-d}*). The *Module_{MJS-A}* supports calibration and validation of parameters required in the *Module_{ET_o.h-d}*. Hourly and daily ET_o series estimated with the *ASCE* and *MJS* models in the *Module_{ET_o.h-d}* were compared with the respective values estimated in the “*©M.ET_oASCE.and.MJS* of the Moretti Platform” module. The *ASCE* daily ET_o and the *Module_{ET_o.h-d}* interface were also compared with the “*FAO ET_o Calculator*” program. The analyses were carried out with climate data from the National Institute of Meteorology (INMET) from nine meteorological stations representing Brazilian climate types (*Am*, *Af*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa*, and *Cwb*), measured in the period between January 1, 2020, and December 31, 2020. The quality of the associations was evaluated with statistical indicators (correlation coefficient, r ; root mean square error, *RMSE*; and, Nash-Sutcliffe efficiency, *NSE*). Checked that: *i*) *Module_{MJS-A}* and *Module_{ET_o.h-d}* allow the analysis of large series of climatic data quickly and accurately, in addition to enabling ET_o estimates at daily and hourly intervals with *ASCE* and alternative models (adapted/reduced) in the same work environment; *ii*) The intuitive interface of *Module_{ET_o.h-d}* enabled agility in making estimates of daily and hourly ET_o series, and ease of handling, not requiring the installation of the module and files in specific formats for importing data and exporting results; and, *iii*) The associations between respective ET_o values estimated with *Modulo_{ET_o.h-d}* about those calculated with “*©M.ET_oASCE.and.MJS*” and “*FAO ET_o Calculator*” indicated good performance for daily/hourly and daily periodicity, respectively, despite the *ASCE* model and methodological procedures are not the same between the compared systems.

Keywords: Hydrological cycle. Water relations. Modeling. Schedules. *VBA-Macro*. Agrometeorology.

2.3 INTRODUÇÃO

A evapotranspiração (ET) é controlada pelo suprimento de água às plantas e interação entre variáveis internas (fenologia da planta) e externas (climatológicas). A ET ocorre naturalmente como forma de dissipar energia e manter o crescimento e desenvolvimento das plantas (Santos et al., 2021b), sendo uma importante componente hidrológica. O conhecimento da ET auxilia consideravelmente na quantificação da saída de água dos sistemas naturais ou agrícolas, possibilitando a realização do planejamento e manejo adequado dos recursos hídricos e do solo (Lopes e Leal, 2016; Ji et al., 2017; Rosa, 2023).

Para melhor compreensão e utilização técnica, o conceito de evapotranspiração de referência (ET_o) foi idealizado e refere-se ao processo de perda de água para a atmosfera por evaporação do solo e transpiração de uma cultura hipotética de referência, como a grama (com altura de 0,12 m) ou alfafa (com altura de 0,50 m), assumindo-se perfeito desenvolvimento vegetativo e condições ideais de suprimento de água. Padronizando-se os fatores internos e suprimento de água, tem-se a possibilidade de verificar a influência das variáveis externas sobre a ET_o , bem como sua medida de tendência central ao longo de determinado período (Allen, 1998; ASCE-EWRI, 2005; Jerszurki et al., 2017; Santos et al., 2021b).

A ET_o pode ser determinada diretamente com evapotranspirômetros ou lisímetros. Contudo, estes aparelhos são caros e necessitam de muita manutenção e mão de obra qualificada. Por esses motivos, a estimativa indireta da ET_o com modelos/equações matemáticas se desenvolveu muito nas últimas décadas, tendo aplicação nas mais diversas áreas envolvendo o estudo das relações hídricas (Souza et al., 2017; Santos et al., 2021b; Rosa, 2023).

Existem modelos matemáticos que permitem a estimativa da ET_o em diferentes periodicidades (TABELA 1.1, do Capítulo I), sendo a diária a mais utilizada nos estudos presentes na literatura. Contudo, existem estudos (Oliveira, 2018; Santos et al., 2021b) que consideram haver maior precisão nos valores de ET_o diária obtidos com o somatório das ET_o horária das 24 horas do dia, o que aumenta consideravelmente a quantidade de dados a serem trabalhados e o tempo necessário para realização do cálculo das séries de ET_o .

O uso de modelos matemáticos exige atenção e cuidado quanto à ocorrência de erros nas estimativas, principalmente quando pretende-se utilizar modelos que

exigem calibração e/ou ajustes. Desta forma, a utilização de programas que possibilitem facilidades e rapidez, bem como permitam estimativas mais precisas da *ET_o*, estão despertando cada vez mais o interesse dos pesquisadores e técnicos da área de engenharia de água e solo (Santos e Souza, 2020). Apesar da complexidade e tempo necessário no desenvolvimento, a disposição de modelos estatísticos em módulos automatizados é importante para a tomada de decisões relacionadas aos processos hidrológicos e exploração dos recursos hídricos, como é o caso da estimativa da *ET_o*, que possui inúmeras aplicações para a engenharia de água e solo e hidrologia. A *ET_o* também é importante para a climatologia e meteorologia, pois está relacionada à classificação das secas pelo índice “Índice de precipitação padronizado” (SPEI), que é um aspecto relevante para tomada de decisão agrícola (Landeras et al., 2009; Silva et al., 2010; Tian e Martinez, 2012; Psilovikos e Elhag, 2013; Luo et al., 2014; Brito et al., 2018).

Na literatura são encontrados programas para o cálculo da *ET_o*, como o “*FAO *ET_o* calculator*” (FAO, 2009), o código “*Fortran Morton WREVAP*” (McMahon et al., 2013), o pacote R “*Evapotranspiration*” (Guo et al., 2016) e o Módulo “*©M.ET_oASCE.e.MJS* da Plataforma Moretti”, que realiza o cálculo de séries anuais da *ET_o* diária e horária, com o modelo *ASCE Penman-Monteith* e *Moretti-Jerszurki-Silva* (Jerszurki et al., 2017; Santos et al., 2021b). Contudo, nem todos os programas disponíveis apresentam facilidade ou possibilitam estimativas da *ET_o* na periodicidade horária e diária. Geralmente, o mais comum são programas que realizam a estimativa da *ET_o* diária ou mensal. Além disso, poucas opções de ferramentas gratuitas estão disponíveis, fato que dificulta a utilização dos mesmos.

Apresentado pela FAO (2009), o programa “*FAO *ET_o* calculator*” (versão 3.2) é bastante utilizado para comparação e verificação de sistemas ou programas mais novos, desenvolvidos para estimar a *ET_o* (Sousa, 2012). A “Plataforma Moretti / Laboratório de Modelagem e Sistemas Ambientais (LAMOSA)” do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Paraná, que desenvolveu o Módulo “*©M.ET_oASCE.e.MJS*”, também é referência no Brasil quanto ao desenvolvimento de módulos e/ou programas computacionais simples e de fácil utilização voltados ao estudo das relações hídricas, que são disponibilizados livremente para a comunidade em geral (Oliveira, 2018; Coelho, 2019; Silva, 2021; Santos et al., 2021a; Santos et al., 2021b). A linguagem *Visual Basic for Applications* (VBA-Macro), utilizada no

desenvolvimento dos módulos, possibilita a criação de interface intuitiva em ambiente de planilha eletrônica, proporcionando facilidade de uso para a maioria dos usuários.

Quando todos os dados climáticos necessários como entrada no modelo *ASCE* não estão disponíveis, modelos alternativos que necessitam de menor número de variáveis (reduzidos) são comumente utilizados. Dentre os modelos adaptados/reduzidos, a metodologia Penman-Monteith-Reduzido (*PMR*; Paredes et al., 2020) necessita das mesmas entradas do *ASCE* padrão, mas adota algumas simplificações. No *PMR* apenas a temperatura do ar (diária ou horária) varia normalmente, e as demais “variáveis” têm apenas a média como entrada no modelo. O modelo reduzido de Turc (1961) também considera apenas a temperatura média (T_{med}) e a radiação solar incidente (R_s). O modelo Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*; Jerszurki et al., 2017), após o procedimento de calibração de seus coeficientes, também permite estimar a *ETo* diária ou horária com o potencial hídrico atmosférico (Ψ_{ar}). Para os cálculos, o Ψ_{ar} necessita como entrada da umidade relativa (UR) e T_{med} do ar na periodicidade diária ou horária. Dos modelos reduzidos apresentados, verificou-se na literatura apenas planilhas automatizadas (diária e horária) para o *MJS*, havendo necessidade do desenvolvimento e/ou disponibilização de sistemas contendo outros modelos reduzidos.

Diante do contexto apresentado, para facilitar e potencializar estudos com a *ETo* com os modelos *ASCE* e adaptados/reduzidos, teve-se por objetivo no presente estudo sistematizar e desenvolver módulos automatizados, destinados a calibrar e validar coeficientes e/ou parâmetros dos modelos e estimar séries de *ETo* horária e diária.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1 Desenvolvimento dos módulos computacionais

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Modelagem de Sistemas Ambientais, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná (LAMOSA/SCA/UFPR). Foram desenvolvidos dois Módulos computacionais com o *software* Excel 2010 e a linguagem de programação *Visual Basic for Applications* (*VBA-Macro*), para realizar os formulários necessários e as rotinas das equações matemáticas para calcular a *ETo* horária e diária.

2.4.2 Modelos selecionados, adaptados e utilizados no Módulo para estimar a *ETo* horária e diária

Foram selecionados oito modelos matemáticos para realizar as estimativas da *ETo* horária e seis para a diária. Alguns modelos foram calculados conforme especificado na literatura e outros foram adaptados/reduzidos. Os Módulos para automatizar a estimativa de séries de *ETo* foram testados e apresentados neste Capítulo II da tese. No Capítulo III os Módulos foram utilizados nas análises e testes realizados para estimar séries de *ETo* horária com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva. No Capítulo IV os Módulos foram utilizados para testar e analisar modelos reduzidos, em periodicidade horária e diária, tendo como variável apenas a temperatura do ar. A descrição dos modelos de estimativa da *ETo* e suas variáveis de entrada encontram-se especificadas a seguir.

a) Modelo ASCE padrão para estimativa horária e diária da *ETo*

A estimativa da *ETo* horária e diária foi realizada com a equação de Penman-Monteith (Equação 2.1), apresentada por *American Society of Civil Engineers* (ASCE-EWRI, 2005), utilizando cultura de porte baixo, com 12 cm (APÊNDICE 3):

$$ETo_{ASCE} = \frac{(0,408 \cdot \Delta \cdot (Rn - G) + \gamma \cdot \frac{Cn}{(T + 273)} \cdot u_2 \cdot (es - ea))}{\Delta + \gamma \cdot (1 + Cd \cdot u_2)} \quad (2.1)$$

Sendo: ETo_{ASCE} – evapotranspiração de referência padronizada para cultura (mm h^{-1} ou mm dia^{-1}); Δ – declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); Rn – saldo de radiação solar na superfície ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); G – balanço do fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); γ – constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); T – temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$); u_2 – velocidade do vento a dois metros de altura ($\text{m s}^{-1} \text{h}^{-1}$ ou $\text{m s}^{-1} \text{dia}^{-1}$); es – pressão de saturação de vapor (kPa h^{-1} ou kPa dia^{-1}); ea – pressão atual do vapor (kPa h^{-1} ou kPa dia^{-1}); Cn e Cd – constantes relacionadas à superfície de referência e intervalo de tempo adotado (para plantas de porte baixo, como a grama: $Cn_{\text{horária}} = 37 \text{ K mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para periodicidade horária e $Cn_{\text{diária}} = 900 \text{ K mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para periodicidade diária; e, $Cd_{\text{diurno}} = 0,24 \text{ s m}^{-1}$ no período diurno, $Cd_{\text{noturno}} = 0,96 \text{ s m}^{-1}$ no período noturno e $Cd_{\text{diário}} = 0,34 \text{ s m}^{-1}$ no período diário).

b) Modelo Penman-Monteith-Reduzido

A estimativa da ET_o com o modelo Penman-Monteith-Reduzido (PMR), na periodicidade horária ($ET_{oPMR.h}$) e diária ($ET_{oPMR.d}$), foi realizada baseando-se na equação de Penman-Monteith (Equação 2.2), apresentada pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE-EWRI, 2005), utilizando cultura de porte baixo, com 12 cm de altura (APÊNDICE 3). Nos cálculos, considerou-se apenas a variação da temperatura do ar. As demais “variáveis” climáticas de entrada foram consideradas iguais à média (para hora ou dia):

$$ET_{oPMR} = \frac{(0,408 \cdot \Delta \cdot (Rn_{méd.p} - G) + \gamma \cdot \frac{Cn}{(T_{méd} + 273)} \cdot u_{2méd.p} \cdot (e_{s_{méd.p}} - e_{a_{méd.p}}))}{\Delta + \gamma \cdot (1 + Cd \cdot u_{2méd.p})} \quad (2.2)$$

Sendo: $ET_{oPMR.h}$ e $ET_{oPMR.d}$ – Evapotranspiração de referência diária e horária, respectivamente (mm h^{-1} ou mm dia^{-1}); Δ – declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); $Rn_{méd.p}$ – média do saldo de radiação do período para cada hora ou dia ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); G – balanço do fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); γ – constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); $T_{méd}$ – temperatura média do ar para o dia ou hora em análise ($^\circ\text{C}$); $u_{2méd.p}$ – média da velocidade do vento a dois metros de altura do período, para cada hora ou dia ($\text{m s}^{-1} \text{h}^{-1}$ ou $\text{m s}^{-1} \text{dia}^{-1}$); $e_{a_{méd.p}}$ e $e_{s_{méd.p}}$ – média da pressão atual e de saturação de vapor do período, respectivamente, para cada hora ou dia (MPa h^{-1} ou MPa dia^{-1} ; ASCE-EWRI, 2005; APÊNDICE 3); Cn e Cd – constantes relacionadas à superfície de referência e intervalo de tempo adotado (para plantas de porte baixo, como a grama: $Cn_{horária} = 37 \text{ K mm s}^3 \text{Mg}^{-1} \text{h}^{-1}$ para periodicidade horária e $Cn_{diária} = 900 \text{ K mm s}^3 \text{Mg}^{-1} \text{dia}^{-1}$ para periodicidade diária; e, $Cd_{diurno} = 0,24 \text{ s m}^{-1}$ para periodicidade horária diurna, $Cd_{noturno} = 0,96 \text{ s m}^{-1}$ para periodicidade horária noturna e $Cd_{diária} = 0,34 \text{ s m}^{-1}$ para periodicidade diária).

O Módulo desenvolvido disponibiliza as médias aritméticas das variáveis climáticas necessárias nos modelos reduzidos, para cada tipo climático brasileiro, por hora e/ou por dia.

c) Modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS)

Baseando-se em testes, resultados e constatações (Capítulo III), optou-se no desenvolvimento do Módulo por utilizar apenas o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS)

linear, nas periodicidades horária ($ETo_{MJS(\Psi_{ar})L.h}$) e diária ($ETo_{MJS(\Psi_{ar})L.d}$). Considerou-se também apenas o modelo *MJS* que utiliza o potencial hídrico atmosférico (Ψ_{ar}), devido à necessidade de contabilização dos valores de *ETo* noturnos (Jerszurki et al., 2017; Santos et al., 2021b).

Para periodicidade horária, também foi considerado o descompasso (Santos et al., 2021b) verificado entre os modelos *ASCE* e *MJS*, em que o “a” da simbologia “ $ETo_{MJS(\Psi_{ar})La.h}$ ” significa “ajuste”. As Equações 2.3d e 2.4d foram utilizadas somente quando desejou-se estimar a *ETo* com o modelo *MJS* tendo a temperatura do ar como variável de entrada, na periodicidade horária ($ETo_{MJS(\Psi_{ar})La.ht}$) e diária ($ETo_{MJS(\Psi_{ar})L.dt}$). Assim, os valores de *ea* e *es* foram considerados iguais à média horária ou diária do tipo climático do local (*Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* e *Cwb*) (TABELAS 4.4 e 4.5 do Capítulo IV).

i) A estimativa da *ETo* na periodicidade diária ($ETo_{MJS(\Psi_{ar})L.d}$ e $ETo_{MJS(\Psi_{ar})L.dt}$) e os valores do potencial hídrico atmosférico foram obtidos com as equações:

$$ETo_{MJS(\Psi_{ar})L.d} = a + b \cdot \Psi_{ar.d} \quad (2.3a)$$

$$ETo_{MJS(\Psi_{ar})L.dt} = a + b \cdot \Psi_{ar.dt} \quad (2.3b)$$

$$\Psi_{ar.d} = \frac{R \cdot T_{méd}}{M_v} \cdot \ln\left(\frac{ea}{es}\right) \quad (2.3c)$$

$$\Psi_{ar.dt} = \frac{R \cdot T_{méd}}{M_v} \cdot \ln\left(\frac{ea_{méd.p}}{es_{méd.p}}\right) \quad (2.3d)$$

Sendo: $ETo_{MJS(\Psi_{ar})L.d}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo *MJS* linear na periodicidade diária (mm dia⁻¹); $ETo_{MJS(\Psi_{ar})L.dt}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo *MJS* linear na periodicidade diária, variando apenas a temperatura do ar (mm dia⁻¹); “a” e “b” – coeficientes linear e angular, respectivamente, obtidos nas associações entre “ Ψ_{ar} vs ETo_{ASCE} ” na calibração, na periodicidade diária (“a” em mm dia⁻¹ e “b” em mm dia⁻¹ MPa⁻¹); $\Psi_{ar.d}$ – potencial hídrico atmosférico diário (MPa); $\Psi_{ar.dt}$ – potencial hídrico atmosférico diário, variando apenas em função da temperatura (MPa); *R* – Constante universal dos gases perfeitos (8,314 J mol⁻¹ K⁻¹); *T_{méd}* – temperatura média diária do ar (K); *M_v* – Massa molar da água (18 . 10⁻⁶ m³ mol⁻¹); *ea* e *es* – pressão atual e de saturação de vapor diária, respectivamente (MPa; ASCE-EWRI, 2005; APÊNDICE 3); *ea_{méd.p}* e *es_{méd.p}* – média

diária da pressão atual e de saturação de vapor, respectivamente, conforme tipo climático brasileiro e estação do ano (MPa dia⁻¹; ASCE-EWRI, 2005; APÊNDICE 3).

ii) As estimativas da ET_o na periodicidade horária, sem considerar o ajuste do descompasso ($ET_{oMJS(\Psi_{ar})L.h}$ e $ET_{oMJS(\Psi_{ar})L.ht}$), e os valores horários do potencial hídrico atmosférico foram obtidos com as equações:

$$ET_{oMJS(\Psi_{ar})L.h} = a + b \cdot \Psi_{ar.h} \quad (2.4a)$$

$$ET_{oMJS(\Psi_{ar})L.ht} = a + b \cdot \Psi_{ar.ht} \quad (2.4b)$$

$$\Psi_{ar.h} = \frac{R \cdot T_{med}}{M_v} \cdot \ln\left(\frac{ea}{es}\right) \quad (2.4c)$$

$$\Psi_{ar.ht} = \frac{R \cdot T_{med}}{M_v} \cdot \ln\left(\frac{ea_{med.p}}{es_{med.p}}\right) \quad (2.4d)$$

Sendo: $ET_{oMJS(\Psi_{ar})L.h}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo MJS linear, na periodicidade horária (mm h⁻¹); $ET_{oMJS(\Psi_{ar})L.ht}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo MJS linear, na periodicidade horária e variando apenas a temperatura do ar (mm h⁻¹); “ a ” e “ b ” – coeficientes linear e angular, respectivamente, obtidos nas associações entre “ Ψ_{ar} vs ET_{oASCE} ” na calibração, na periodicidade horária (“ a ” em mm h⁻¹ e “ b ” em mm h⁻¹ MPa⁻¹); $\Psi_{ar.h}$ – potencial hídrico atmosférico horário (MPa); $\Psi_{ar.ht}$ – potencial hídrico atmosférico horário, variando apenas em função da temperatura (MPa); R – Constante universal dos gases perfeitos (8,314 J mol⁻¹ K⁻¹); T_{med} – temperatura média horária do ar (K); M_v – Massa molar da água (18 . 10⁻⁶ m³ mol⁻¹); ea e es – pressão atual e de saturação de vapor horária, respectivamente (MPa; ASCE-EWRI, 2005; APÊNDICE 3); $ea_{med.p}$ e $es_{med.p}$ – média horária da pressão atual e de saturação de vapor, respectivamente, conforme o tipo climático brasileiro e estação do ano (MPa h⁻¹; ASCE-EWRI, 2005; APÊNDICE 3).

iii) As estimativas da ET_o na periodicidade horária, considerando o ajuste do descompasso ($ET_{oMJS(\Psi_{ar})La.h}$ e $ET_{oMJS(\Psi_{ar})La.ht}$) e os valores horários do potencial hídrico atmosférico, foram obtidos com as equações:

$$ET_{oMJS(\Psi_{ar})La.h} = a + b \cdot \Psi_{ar(h \pm d)} \quad (2.5a)$$

$$ET_{oMJS(\Psi_{ar})La.ht} = a + b \cdot \Psi_{art.(h \pm d)} \quad (2.5b)$$

$$\Psi_{ar.(h \pm d)} = \frac{R \cdot T_{(h \pm d)}}{M_v} \cdot \ln \left(\frac{ea_{(h \pm d)}}{es_{(h \pm d)}} \right) \quad (2.5c)$$

$$\Psi_{ar.(h \pm d)t} = \frac{R \cdot T_{(h \pm d)}}{M_v} \cdot \ln \left(\frac{ea_{méd.p.(h \pm d)}}{es_{méd.p.(h \pm d)}} \right) \quad (2.5d)$$

Sendo: $ETo_{MJS}(\Psi_{ar})_{La.h}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo *MJS* linear, na periodicidade horária, considerando o ajuste do descompasso (mm h^{-1}); $ETo_{MJS}(\Psi_{ar})_{La.ht}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo *MJS* linear, na periodicidade horária, considerando o ajuste do descompasso e tendo como variável apenas a temperatura do ar (mm h^{-1}); “*a*” e “*b*” – coeficientes linear e angular, respectivamente, obtidos nas associações entre “ Ψ_{ar} vs ETo_{ASCE} ” na calibração, na periodicidade horária (“*a*” em mm h^{-1} e “*b*” em $\text{mm h}^{-1} \text{MPa}^{-1}$); $\Psi_{ar.(h \pm d)}$ – potencial hídrico atmosférico horário considerando o ajuste do descompasso “*d*” (MPa); $\Psi_{ar.(h \pm d)t}$ – potencial hídrico atmosférico horário, considerando o ajuste do descompasso “*d*” e tendo como variável apenas a temperatura do ar (MPa); *R* – Constante universal dos gases perfeitos ($8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$); $T_{(h \pm d)}$ – temperatura média horária do ar, considerando o descompasso “*d*” (K); M_v – Massa molar da água ($18 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$); *ea* e *es* – pressão atual e de saturação de vapor horária, respectivamente (MPa; ASCE-EWRI, 2005; APÊNDICE 3); $ea_{méd.p}$ e $es_{méd.p}$ – média horária da pressão atual e de saturação de vapor, respectivamente, conforme o tipo climático brasileiro e estação do ano (MPa h^{-1} ; ASCE-EWRI, 2005; APÊNDICE 3).

O descompasso “*d*”, observado entre as *ETo* estimadas com os modelos *MJS* *ASCE*, foi identificado e automatizado no Módulo constituído. Para isso considerou-se a disposição geográfica das estações meteorológicas selecionadas (FIGURA 3.22, do Capítulo III), associada a cada tipo climático. Desta forma, os tipos climáticos *Af* e *Am* têm ajuste de uma hora, e os climas *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* e *Cwb* ajuste de duas horas. Os valores dos coeficientes horários e diários foram adicionados ao Módulo desenvolvido, proporcionando automatização de seus usos.

Os coeficientes linear “*a*” e angular “*b*” do modelo *MJS* (Jerszurki et al., 2017), na periodicidade horária, foram estabelecidos conforme Capítulo III (TABELA 3.1). Todo procedimento metodológico para calibração e validação dos coeficientes “*a*” e “*b*” do modelo *MJS* foi automatizado em um dos Módulos desenvolvidos, para permitir

sua determinação para qualquer local. Para a periodicidade diária foram utilizados os coeficientes disponibilizados por Jerszurki (2016), para os tipos climáticos brasileiros.

d) Modelo Turc

O modelo de Turc (1961) modificado por Fisher e Pringle (2013) estima a ET_o na periodicidade diária. Para isso, o modelo necessita como entrada da temperatura média diária do ar ($T_{méd}$), obtida fazendo-se a média das temperaturas máxima e mínima do dia e da radiação solar incidente diária (Rs). Conforme proposta e modificações dispostas no Capítulo IV, o modelo também possibilitou a realização de estimativas da ET_o horária:

$$ET_{oT.d} = 0,013 \cdot \left(\frac{T_{méd}}{T_{méd} + 15} \right) \cdot (23,88 \cdot Rs + 50) \quad (2.6a)$$

$$ET_{oTa.h} = 0,00055 \cdot \left(\frac{T_{méd}}{T_{méd} + 15} \right) \cdot (573,12 \cdot Rs + 50) \quad (2.6b)$$

Sendo: $ET_{oT.d}$ e $ET_{oTa.h}$ – Evapotranspiração de referência diária e horária estimada com o método de Turc, respectivamente (mm dia^{-1} ou mm h^{-1}); $T_{méd}$ – temperatura média, considerando valores máximos e mínimos do dia ou da hora ($^{\circ}\text{C}$); Rs – Radiação solar incidente diária ou horária ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$).

O modelo de Turc (Equações 2.7 “a” e “b”), tendo como variável de entrada apenas a temperatura média do ar ($T_{méd}$; média obtida das temperaturas máxima e mínima do ar, horária ou diária), considerou a radiação solar incidente média do período ($Rs_{méd.p}$) diário, conforme a estação do ano e hora do dia (TABELAS 4.4 e 4.5 do Capítulo IV).

$$ET_{oT.dt} = 0,013 \cdot \left(\frac{T_{méd}}{T_{méd} + 15} \right) \cdot (23,88 \cdot Rs_{méd.p} + 50) \quad (2.7a)$$

$$ET_{oTa.ht} = 0,00055 \cdot \left(\frac{T_{méd}}{T_{méd} + 15} \right) \cdot (573,12 \cdot Rs_{méd.p} + 50) \quad (2.7b)$$

Sendo: $ET_{oT.dt}$ e $ET_{oTa.ht}$ – Evapotranspiração de referência diária e horária, respectivamente, tendo como variável apenas a temperatura média do ar (mm dia^{-1} ou mm h^{-1}); $T_{méd}$ – temperatura média do ar, obtida com a média das temperaturas máxima e mínima do ar, diária ou horária ($^{\circ}\text{C}$); $Rs_{méd.p}$ – Média da radiação solar

incidente do período, obtida conforme a estação do ano e tipo climático brasileiro para a periodicidade diária ou horária ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).

2.4.3 Testes para verificação do módulo desenvolvido

Após inclusão dos modelos *ASCE* e adaptados/reduzidos (na periodicidade horária e diária) no Módulo proposto, realizou-se testes para sua verificação. Os testes consistiram basicamente nas avaliações: *i)* Análise das diferenças entre as estimativas da *ET_o* obtidas com o Módulo desenvolvido em relação ao módulo “*®M.ET_oASCE.e.MJS* da Plataforma Moretti” e programa “*FAO ET_o Calculator*”; e, *ii)* Identificação dos aspectos positivos e negativos nas operações com a utilização do Módulo desenvolvido.

A identificação e verificação das vantagens e desvantagens do Módulo desenvolvido basearam-se nas facilidades e dificuldades que foram observadas com a sua utilização nas análises realizadas nos Capítulos III e IV, bem como das comparações com o módulo “*®M..ET_oASCE.e.MJS* da Plataforma Moretti” e programa “*FAO ET_o Calculator*”. Especial enfoque foi dado às alternativas de cálculo, periodicidades para obtenção das estimativas da *ET_o*, entradas de dados necessários, facilidade de utilização e exportação dos resultados. Também foram realizadas comparações quanto às unidades de medida exigidas, suas transformações e limitações de valores para as variáveis de entrada.

2.4.4 Análise estatística

Assim como no Módulo desenvolvido no presente estudo, o módulo “*®M.ET_oASCE.e.MJS* da Plataforma Moretti” também foi desenvolvido em planilha eletrônica Excel 2010, utilizando rotinas feitas com a linguagem VBA-Macro. O *®M.ET_oASCE.e.MJS* já foi utilizado e testado nos estudos de Jerszurki et al. (2017), Santos et al. (2021b) e Rosa et al. (2023). O programa “*ET_o Calculator*”, por ser da *FAO*, possibilita a realização da validação de novos modelos e/ou sistemas de estimativa da *ET_o* (Guo et al., 2016). Nas análises, os respectivos valores de *ET_o* diário e/ou horário obtidos com o Módulo desenvolvido no presente estudo foram associados e comparados em análises de regressões lineares com as *ET_o* estimadas

no módulo [®]M.ETo_{ASCE.e.MJS} (ETo_{ASCE.e.MJS}; Jerszurki et al., 2017) e com o programa *FAO ETo Calculator*, versão 3.2 (ETo_{FAOcalculator}; FAO, 2009).

As verificações quanto ao desempenho foram realizadas com os indicadores estatísticos: Raiz quadrada do erro quadrado médio (*RMSE*; mm h⁻¹ ou mm dia⁻¹); Coeficiente de correlação (“*r*”; adimensional); e, Eficiência de Nash-Sutcliffe (*NSE*; adimensional) (Tegos et al., 2017). Os cálculos foram realizados com o pacote “*hydroGOF*”, versão 0.04 (Zambrano-Bigiarini, 2020) e sua função “*GOF*”, no software R (RStudio Team, 2023; versão 4.2.3).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (ETo_{E_i} - ETo_{MD_i})^2}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(ETo_{E_i} - \overline{ETo_E}) \cdot (ETo_{MD_i} - \overline{ETo_{MD}})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (ETo_{E_i} - \overline{ETo_E})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (ETo_{MD_i} - \overline{ETo_{MD}})^2}}$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (ETo_{E_i} - ETo_{MD_i})^2}{\sum_{i=1}^n (ETo_{E_i} - \overline{ETo_E})^2}$$

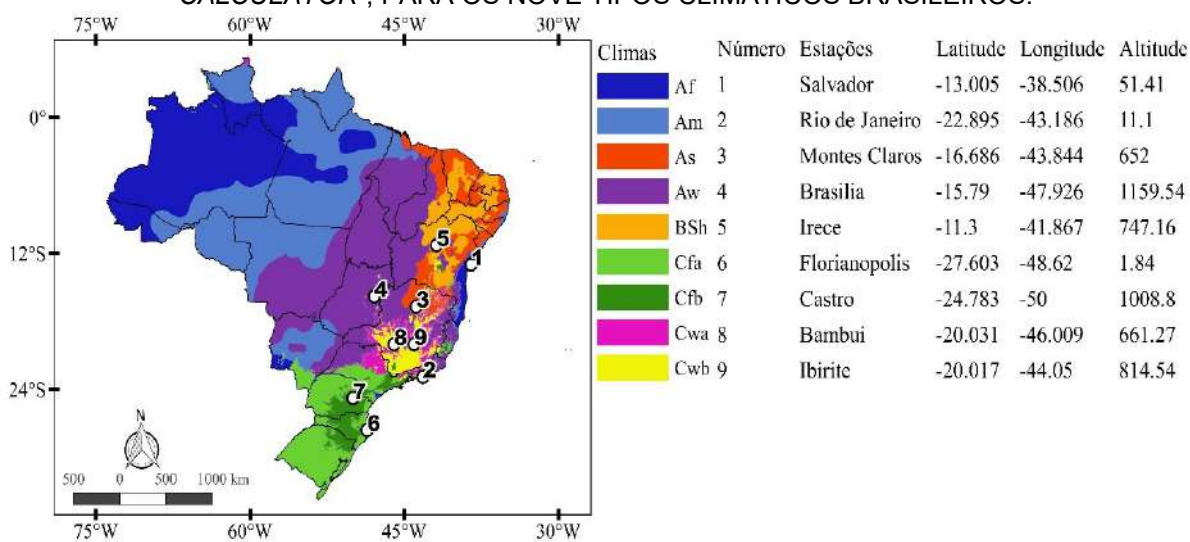
Sendo: *RMSE* – Raiz quadrada do erro quadrático médio (mm dia⁻¹ ou h⁻¹); *r* – coeficiente de correlação de Pearson (adimensional); *NSE* – eficiência de Nash-Sutcliffe (adimensional); *n* – número de dias ou horas analisados, sendo o tamanho da amostra (adimensional); *ETo_{E_i}* – evapotranspiração de referência estimada com o “[®]M.ETo_{ASCE.e.MJS}” ou “*FAO ETo Calculator*” no *i*-ésimo dia ou hora analisado (mm dia⁻¹ ou h⁻¹); *ETo_{MD_i}* – evapotranspiração de referência estimada com o Módulo desenvolvido, no *i*-ésimo dia ou hora analisado (mm dia⁻¹ ou h⁻¹); $\overline{ETo_E}$ – média da evapotranspiração de referência estimada com o “[®]M.ETo_{ASCE.e.MJS}” ou “*FAO ETo Calculator*” (mm dia⁻¹ ou h⁻¹); $\overline{ETo_{MD}}$ – média da evapotranspiração de referência estimada com o Módulo desenvolvido (mm dia⁻¹ ou h⁻¹).

a) Dados meteorológicos utilizados nas análises

Para as estimativas da *ETo* diária e/ou horária foram utilizadas séries de dados de nove estações meteorológicas automáticas (FIGURA 2.1), obtidas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), compreendendo o período entre 01/01/2020 e 31/12/2020. A seleção das estações foi realizada considerando o menor número de

falhas nos dados para o período, sendo uma estação para cada tipo climático brasileiro. Para a estimativa da ET_o diária e/ou horária com os modelos *ASCE*, *MJS* e com o programa *FAO Calculator* foram necessários os seguintes dados climáticos horários: temperaturas máxima e mínima do ar (T ; °C); umidade relativa máxima e mínima do ar (UR ; %); radiação solar incidente (R_s ; MJ m⁻²); e, velocidade do vento a 10 m de altura (u_{10} ; m s⁻¹), que posteriormente, no Módulo desenvolvido, foi transformada automaticamente para 2 m de altura (u_2 ; m s⁻¹) (APÊNDICE 3).

FIGURA 2.1 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS NOVE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS DO INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET), QUE TIVERAM SUAS SÉRIES DE DADOS CLIMÁTICOS UTILIZADAS PARA CALCULAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) COM O MÓDULO DESENVOLVIDO, [®]*M.ET_oASCE.e.MJS* E “*FAO ET_o CALCULATOR*”, PARA OS NOVE TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS.



Fonte: O autor (2024).

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.5.1 Ajustes do modelo Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*) para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) horária

O módulo computacional denominado “Ajustes do modelo Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*) para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) horária” (*Módulo_{MJS-A}*) foi desenvolvido para calibração, validação e análise do descompasso horário da ET_o estimada com o modelo *MJS* em relação ao *ASCE*. No formulário principal de abertura (FIGURA 2.2) do *Módulo_{MJS-A}* o usuário tem a sua disposição os botões de comando: “Pré-calibração”; “Limpeza e Calibração”; “Pré-validação”; “Limpeza e Validação”; “Descompasso *MJS*”; e, “Anexos”.

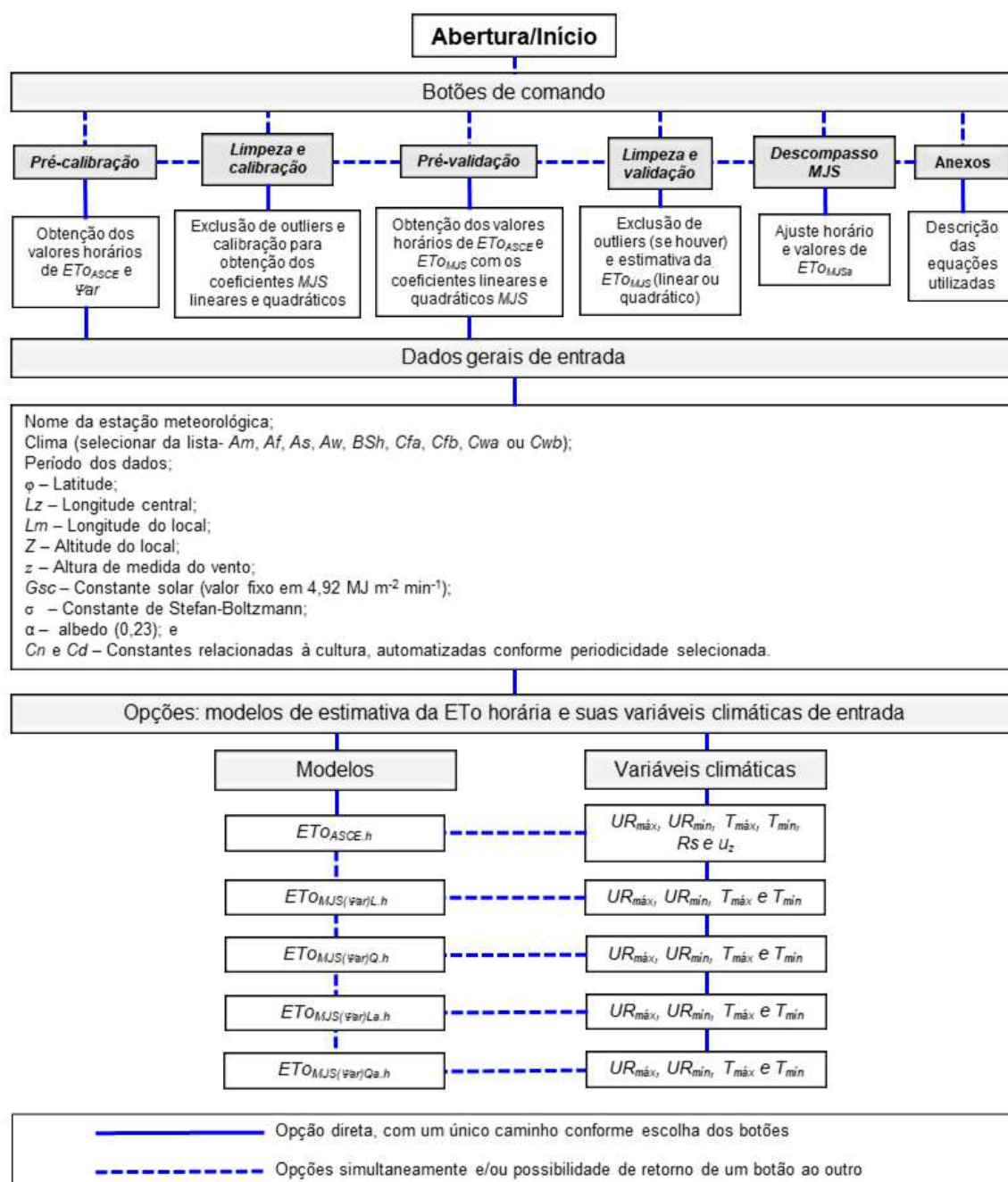
FIGURA 2.2 – FORMULÁRIO PRINCIPAL (ABERTURA) DO MÓDULO COMPUTACIONAL DESENVOLVIDO PARA REALIZAR “AJUSTES DO MODELO MORETTI-JERSZURKI-SILVA (MJS) PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (E_{To}) HORÁRIA” (*Módulo_{MJS-A}*).

 UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ / SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA © M Plataforma Moretti LAMOSA - LABORATÓRIO DE MODELAGEM DE SISTEMAS AGRÍCOLAS			
MÓDULO – AJUSTES DO MODELO MORETTI-JERSZURKI-SILVA (MJS) PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (E_{To}) HORÁRIA			
Autores: Pós-Graduanda: Aline Aparecida dos Santos (PGCS / DSEA / SCA / UFPR) Orientador: Jorge Luiz Moretti de Souza (LAMOSA / DSEA / SCA / UFPR)			
Endereço: Rua dos Funcionários, 1540 - Curitiba, PR CEP: 80035-050 Telefone: (041) 3350-5689 e-mail: jmoretti@ufpr.br Site: http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/	Pré-calibração	Limpeza e calibração	Pré-validação
	Limpeza e validação	Descompasso MJS	Anexos
Versão 1.0 / 2024 Santos_PGCS_pMoretti_2024			

Fonte: O autor (2024).

Na estrutura do *Módulo_{MJS-A}* (FIGURA 2.3) encontram-se apresentados detalhes sobre os botões de comando (“Pré-calibração”; “Limpeza e Calibração”; “Pré-validação”; “Limpeza e Validação”; “Descompasso *MJS*”; e, “Anexos”) e informações sobre os dados gerais, climáticos e opções necessárias, como entrada nos modelos de estimativa da E_{To} (*ASCE* e *MJS*) horária e diária. Nesta etapa, o usuário pode calibrar e validar os coeficientes dos modelos *MJS* linear (“*a*” e “*b*”) ou quadrático (“*a*”, “*b*” e “*c*”), na periodicidade horária (Botões de comando: “Pré-calibração”; “Limpeza e Calibração”; “Pré-validação”; “Limpeza e Validação”). O descompasso entre as E_{To} horárias estimadas com os modelos *MJS* e *ASCE* também pode ser calculado, avaliado e estabelecido no *Módulo_{MJS-A}* (Botão de comando “Descompasso *MJS*”). Os formulários acessados com os botões de comando “Pré-calibração”, “Limpeza e Calibração”, “Pré-validação”, “Limpeza e Validação” e “Descompasso *MJS*” possibilitam a geração de gráficos de medida de tendência central horária da E_{To} e respectivas variáveis climáticas utilizadas, para melhorar a visualização e interpretação dos resultados obtidos.

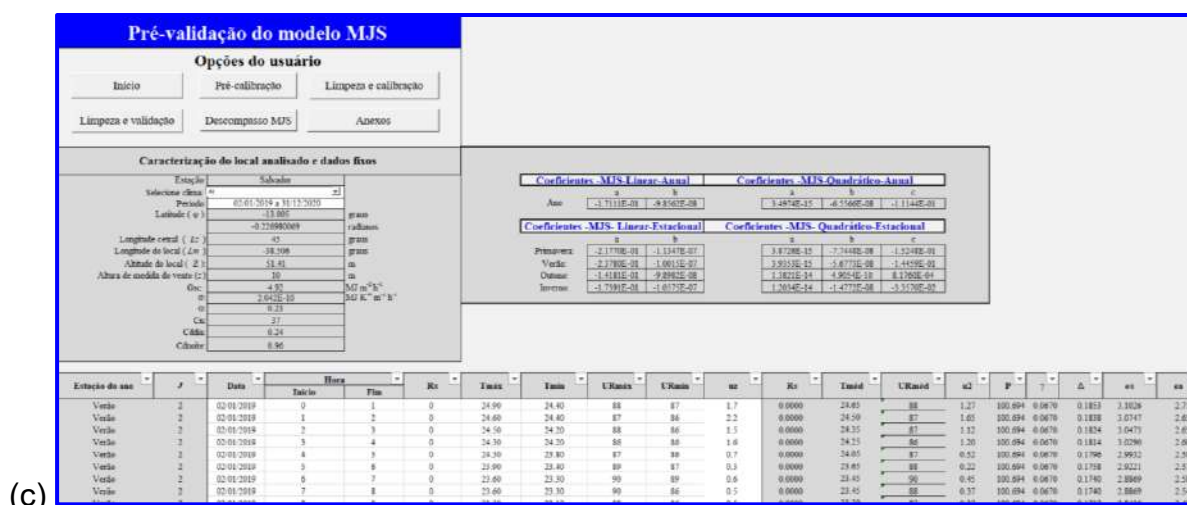
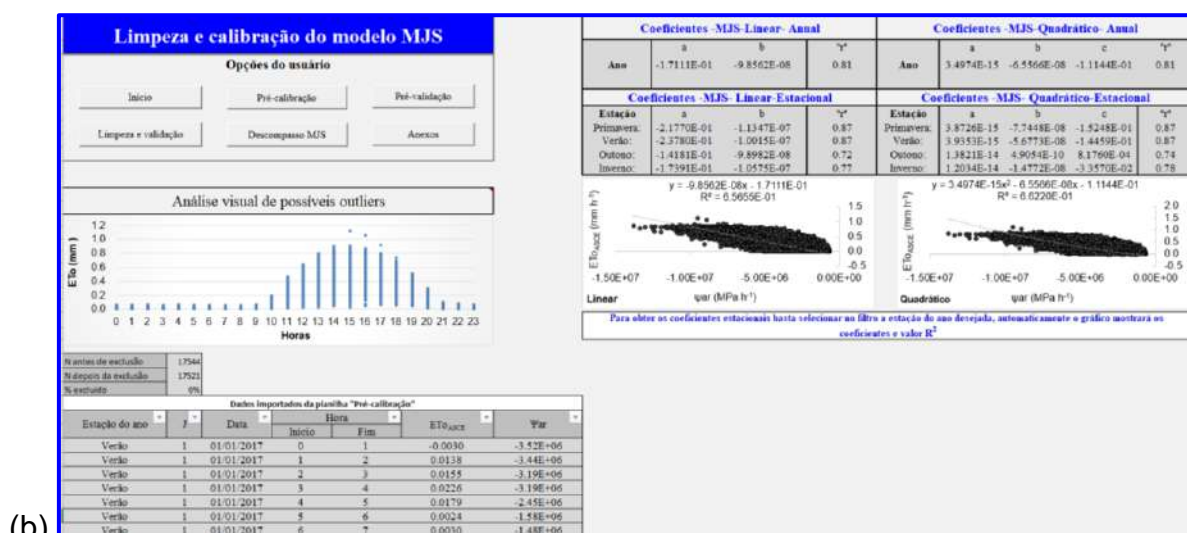
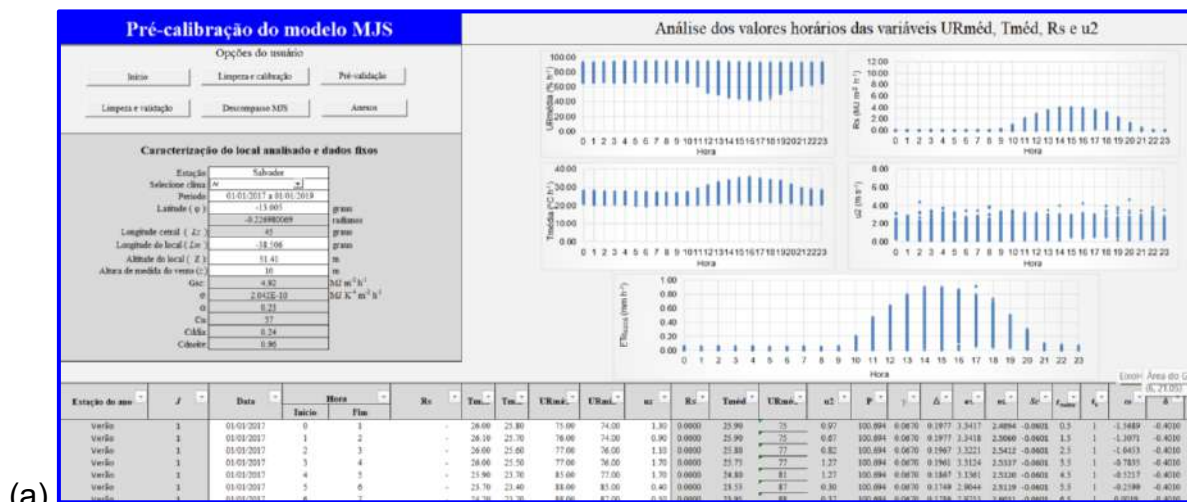
FIGURA 2.3 – ESTRUTURA DO MÓDULO “AJUSTES DO MODELO MORETTI-JERSZURKI-SILVA (MJS) PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) HORÁRIA” ($Módulo_{MJS-A}$).



Fonte: O autor (2024).

Na FIGURA 2.4 encontram-se os Formulários que são apresentados quando são acionados os botões de comando “Pré-calibração”, “Limpeza e Calibração”, “Pré-validação”, “Limpeza e Validação”, “Descompasso MJS” ou “Anexos”, respectivamente, que se encontram no Formulário principal de abertura (FIGURA 2.2).

FIGURA 2.4 – FORMULÁRIOS DO *Módulo_{MJS-A}*, PARA AJUSTES DO MODELO *MJS*, PARA ESTIMATIVA HORÁRIA DA *ET_o*, ACESSADOS COM OS BOTÕES DE COMANDO: a) “Pré-calibração”; b) “Limpeza e calibração”; c) “Pré-validação”; d) “Limpeza e validação”; e) “Descompasso *MJS*”; e, f) “Anexos”.



Continua

Os Formulários do *Módulo_{MJS-A}* seguem alguns padrões de formatação, para auxiliar o usuário. As células com fundo branco e fonte preta destinam-se à entrada de dados, e nas células com fundo cinza e fonte preta encontram-se informações automatizadas que não necessitam de inclusão de dados (FIGURA 2.4).

O Formulário “Pré-calibração” é utilizado para verificação de *outliers* e inclusão dos dados de entrada para calcular a ETo_{ASCE} e Ψ_{ar} , que são utilizados para determinar os coeficientes lineares e quadráticos do *MJS* (FIGURA 2.4a). O Formulário “Limpeza e calibração” é utilizado para verificação e exclusão de *outliers*, possibilitando posteriormente realizar a calibração dos coeficientes dos modelos *MJS* linear (“*a*” e “*b*”) e quadrático (“*a*”, “*b*” e “*c*”). O ajuste dos coeficientes é feito por meio das associações entre “ ETo_{ASCE} e Ψ_{ar} ”, e podem ser feitos para o período anual ou para as estações do ano (FIGURA 2.4b). O Formulário permite a importação automática dos dados inseridos na planilha “Pré-calibração”, resultando em análise gráfica e exclusão de dados inconsistentes.

O Formulário “Pré-validação” possibilita a obtenção das ETo_{ASCE} e ETo_{MJS} horárias, considerando o período de validação e utilizando os coeficientes lineares ou quadráticos obtidos com o *MJS* na calibração. Conforme metodologia descrita por Jerszurki et al. (2017), há necessidade da inclusão de nova série de dados climáticos do local analisado, pois a validação dos coeficientes de modelos precisa ser realizada com dados diferentes dos utilizados na calibração (FIGURA 2.4c).

O Formulário “Limpeza e validação” realiza a identificação de *outliers* e faz sua exclusão da série. Posteriormente, realiza-se automaticamente análise de regressão linear e quadrática entre os respectivos valores de ETo_{ASCE} e ETo_{MJS} (FIGURA 2.4d). Os dados utilizados são importados automaticamente da “Pré-validação”.

As rotinas do Formulário “Descompasso *MJS*” analisa a existência de descompasso entre as respectivas ETo horárias estimadas com o modelo *ASCE* e *MJS*. Os ajustes são realizados automaticamente para descompassos “zero”, “uma” e “duas” horas para o *MJS* linear ou quadrático. Os valores dos descompassos ajustados são apresentados numericamente no Formulário (por hora), bem como as curvas de medida de tendência central das ETo horárias calculadas, para visualização e análise gráfica (FIGURA 2.4e).

No Formulário “Anexos” encontram-se descritas as equações utilizadas para realização de todos os cálculos (FIGURA 2.4f). Todas as equações utilizadas tiveram suas rotinas desenvolvidas na linguagem de programação *VBA-Macro*. As *functions* criadas permitem a estimativa de todas as variáveis necessárias no *MJS* e *ASCE*, na periodicidade horária, sem necessidade de inclusão manual de cada equação na planilha (APÊNDICE 2; QUADRO A2.1). Os modelos também foram disponibilizados como *function* no *Módulo_{MJS-A}* (APÊNDICE 2; QUADRO A2.2). Os ajustes (calibração e validação, descompassos), comparações e análises entre os valores de *ET_o* estimados com o modelo *ASCE* e *MJS* foram realizadas no Capítulo III.

2.5.2 Estimativa da evapotranspiração de referência (*ET_o*) horária e diária com modelos padrão (*ASCE*) e alternativos

No Formulário principal (abertura) do módulo computacional denominado “Estimativa da evapotranspiração de referência (*ET_o*) horária e diária com modelos padrão (*ASCE*) e alternativos” (*Módulo_{ET_o.h-d}*; FIGURA 2.5), o usuário encontra os botões de comando “*ET_o* horária”, “*ET_o* diária” e “Anexos”.

FIGURA 2.5 – FORMULÁRIO PRINCIPAL DE ABERTURA DO MÓDULO COMPUTACIONAL DESENVOLVIDO PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (*ET_o*) HORÁRIA E DIÁRIA COM MODELOS PADRÃO (*ASCE*) E ALTERNATIVOS (*Módulo_{ET_o.h-d}*).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ / SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
Plataforma Moretti
LAMOSA - LABORATÓRIO DE MODELAGEM DE SISTEMAS AGRÍCOLAS

**MÓDULO - ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (*ET_o*)
HORÁRIA E DIÁRIA COM MODELOS PADRÃO (*ASCE*) E ALTERNATIVOS**

Autores:
Pós-Graduanda: Aline Aparecida dos Santos (PGCS / DSEA / SCA / UFPR)
Orientador: Jorge Luiz Moretti de Souza (LAMOSA / DSEA / SCA / UFPR)

Endereço: Rua dos Funcionários, 1540 - Curitiba, PR
CEP: 80035-050 Telefone: (041) 3350-5689
e-mail: jmoretti@ufpr.br
Site: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/>

ETo horária ETo diária Anexos

Versão 1.0 / 2024
Santos_PGCS_pMoretti_2024

Fonte: O autor (2024).

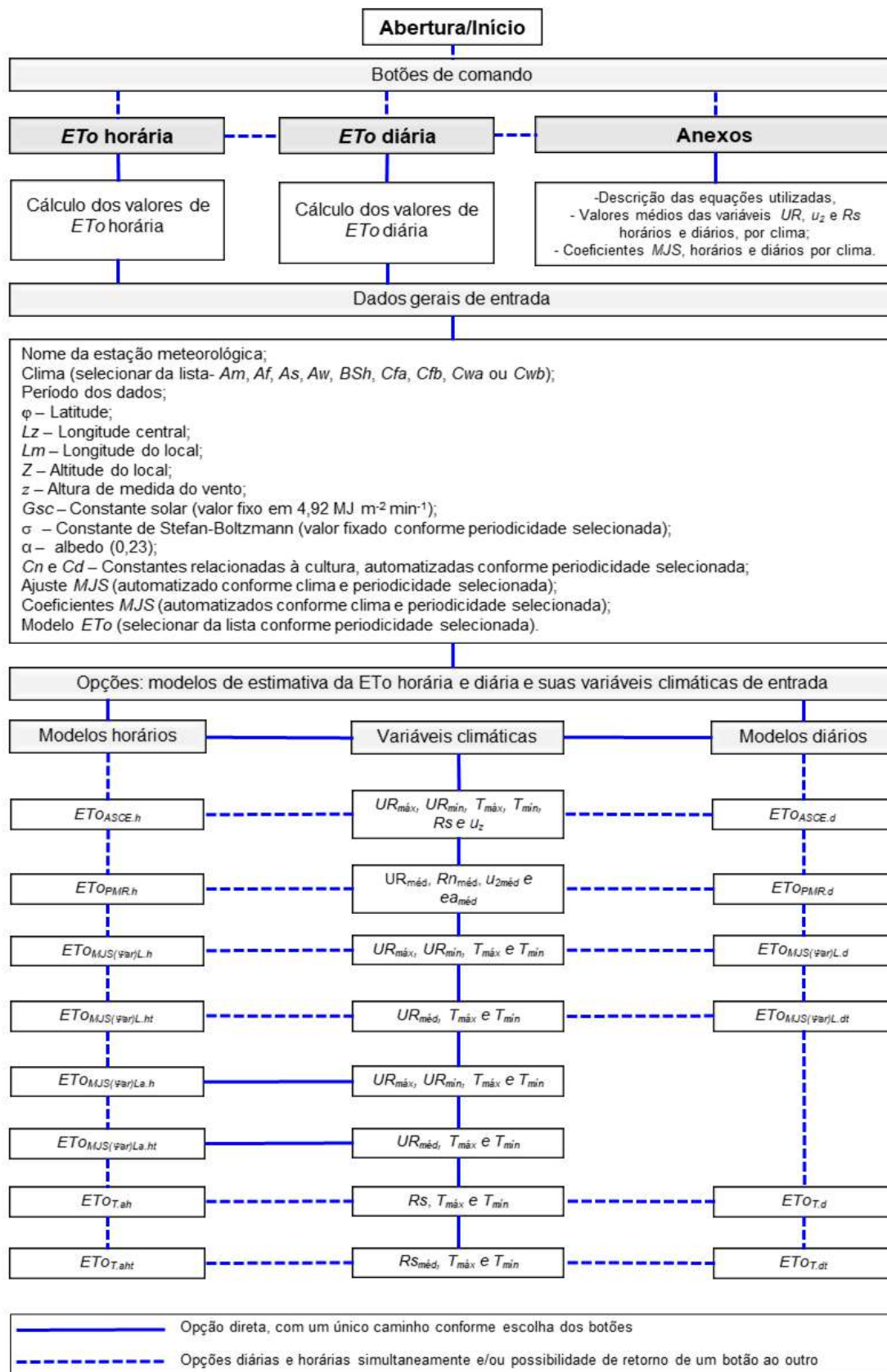
O *Módulo_{ETo.h-d}* foi estruturado e organizado baseando-se nas rotinas, ajustes e verificações observadas na constituição do *Módulo_{MJS-A}* e realização das análises dos Capítulos III e IV desta tese (FIGURA 2.6).

No esquema contendo a estrutura do *Módulo_{ETo.h-d}* (FIGURA 2.6) tem-se as informações sobre: os botões de comando (“*ETo* horária”, “*ETo* diária” e “Anexos”); e dados gerais, climáticos e opções necessárias como entrada nos modelos de estimativa da *ETo* horária e diária (modelos padrão, adaptados e reduzidos). Buscou-se desenvolver um Módulo simples, que permitisse ao usuário escolher opções para estimativa da *ETo* na periodicidade desejada. Para melhorar a visualização e interpretação dos resultados obtidos, os formulários “*ETo* horária” e “*ETo* diária” também possibilitam a geração de gráficos de medidas de tendência central horária e diária das *ETo*, respectivamente, conforme o modelo selecionado.

Nas FIGURAS 2.7, 2.8 e 2.9 encontram-se as interfaces que são apresentadas, quando são acionados os botões de comando “*ETo* horária”, “*ETo* diária” ou “Formulário”, respectivamente, que se encontram no Formulário principal de abertura do *Módulo_{ETo.h-d}* (FIGURA 2.5).

O *Módulo_{ETo.h-d}* permite que o usuário selecione, na caixa de opções, o modelo que se deseja realizar as estimativas da *ETo* (FIGURAS 2.7a e 2.8a; Modelos: ASCE padrão; Adaptados quanto à periodicidade e descompasso; e, Reduzidos, tendo apenas a temperatura como variável horária ou diária). Consta na caixa de seleção oito opções de estimativa da *ETo* horária (FIGURAS 2.7; *ETo_{ASCE.h}*, *ETo_{PMR.h}*, *ETo_{MJS(Ψar)L.ah}*, *ETo_{MJS(Ψar)L.aht}*, *ETo_{MJS(Ψar)L.ht}*, *ETo_{MJS(Ψar)L.h}*, *ETo_{T.ah}*, e *ETo_{T.aht}*). Os mesmos modelos foram utilizados para as estimativas diárias. Assim, realizando-se as adaptações necessárias, seis opções de estimativa da *ETo* diária estão disponíveis na caixa de seleção (FIGURAS 2.6; *ETo_{ASCE.d}*, *ETo_{PMR.d}*, *ETo_{MJS(Ψar)La.d}*, *ETo_{MJS(Ψar)La.dt}*, *ETo_{T.d}* e *ETo_{T.dt}*). Escolhendo-se as opções do modelo de estimativa da *ETo*, automaticamente as células são marcadas com os dados de entrada necessários. As células com fundo branco e fonte preta destinam-se à entrada de dados. Nas células com fundo cinza e fonte preta encontram-se informações automatizadas, que não necessitam de inclusão de dados pelo usuário (FIGURAS 2.7b e 2.8b). Assim, conforme o banco de dados climáticos que se tem disponível, o usuário poderá verificar quais modelos têm a possibilidade de utilizar.

FIGURA 2.6 – ESTRUTURA DO MÓDULO DENOMINADO “ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ETo) HORÁRIA E DIÁRIA COM MODELOS PADRÃO (ASCE) E ALTERNATIVOS” ($Módulo_{ETo,h-d}$).



Fonte: O autor (2024).

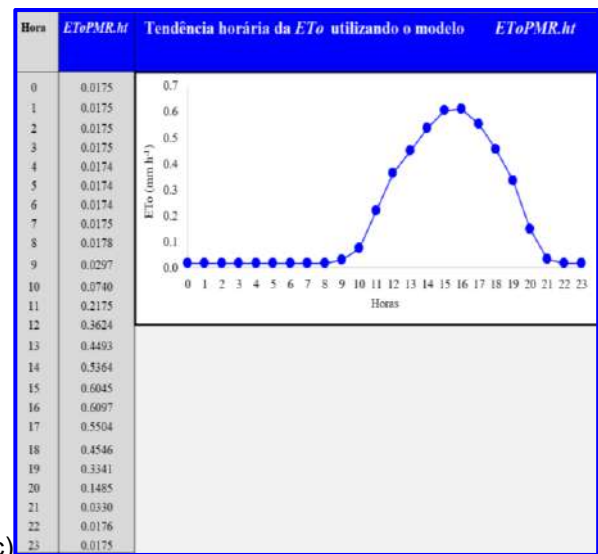
FIGURA 2.7 – FORMULÁRIO “*ET_o horária*”, DO *Módulo_{ET_o.h-d}*, QUE PERMITE CALCULAR A *ET_o* HORÁRIA, COM OS MODELOS PADRÃO E ALTERNATIVOS (ADAPTADOS E REDUZIDOS), SENDO: a) SELEÇÃO DO MODELO, CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL ANALISADO E VALORES FIXOS DE VARIÁVEIS DE ENTRADA CONFORME O CLIMA DO LOCAL; b) DADOS NECESSÁRIOS PARA O MODELO SELECIONADO; E, c) RESULTADO MÉDIO HORÁRIO DA *ET_o* CONFORME O MODELO SELECIONADO.

ET _o horária											
Voltar ao início		Anexos		ET _o diária		Caracterização do local analisado e dados fixos					
Selecionar o modelo <i>ET_o</i> :		Penman-Monteith-Reduzido-Temperatura (ET _o PMR.ht)									
Estação:		Salvador									
Selecione clima:		Af									
Período:		31/12/2019 a 31/12/2020									
Latitude (ϕ):		-13.005		graus							
		-0.226980069		radianos							
Longitude cetral (L_z):		45		graus							
Longitude do local (L_m):		-38.506									
Altitude do local (Z):		51.41		m							
Altura de medida do vento (z):		10		m							
Gsc:		4.92		MJ m ⁻² h ⁻¹							
σ :		2.042E-10		MJ K ⁻⁴ m ⁻² h ⁻¹							
α :		0.23									
Cn:		37									
Cd _{diurno} :		0.24									
Cd _{noturno} :		0.96									
Ajuste <i>MJS</i> :		1 hora									
a:		-0.0532									
b:		-7.03E-08									
Coeficientes <i>MJ.ah</i>											
						Hora	Média, por hora, das variáveis				
							UR _{medh}	Rs _{medh}	u _{2medh}	ea _{medh}	Ru _{medh}
						0	83	0.02	0.93	2.48	-0.03
						1	84	0.01	0.83	2.48	0.00
						2	85	0.01	0.72	2.48	0.00
						3	86	0.01	0.65	2.47	0.00
						4	87	0.01	0.62	2.47	0.00
						5	88	0.02	0.59	2.46	0.00
						6	89	0.01	0.57	2.45	0.00
						7	89	0.01	0.54	2.44	0.00
						8	90	0.02	0.53	2.43	0.00
						9	90	0.07	0.56	2.44	0.05
						10	92	0.34	0.84	2.60	0.24
						11	87	0.75	1.16	2.42	0.54
						12	79	1.20	1.34	2.63	0.89
						13	72	1.74	1.48	2.58	1.30
						14	66	2.13	1.60	2.53	1.60
						15	63	2.26	1.71	2.49	1.70
						16	61	2.19	1.83	2.47	1.64
						17	61	1.92	1.93	2.47	1.43
						18	63	1.52	1.98	2.48	1.13
						19	67	1.01	1.94	2.51	0.74
						20	70	0.48	1.63	2.49	0.33
						21	74	0.11	1.30	2.46	0.05
						22	78	0.02	1.14	2.48	-0.02
						23	81	0.02	1.04	2.48	-0.03

(a)

Estação do ano	Data	Hora		Rs	T _{max}	T _{min}	UR _{max}	UR _{min}	uz	ET _o PMR.ht
		Início	Fim							
Verão	31/12/2019	0	1	0.00	26.9	26.6	76	74	1.4	0.0108
Verão	31/12/2019	1	2	0.00	26.9	26.5	77	75	1.5	0.0211
Verão	31/12/2019	2	3	0.00	26.9	26.2	78	75	0.9	0.0187
Verão	31/12/2019	3	4	0.00	26.9	24.9	85	77	2.2	0.0154
Verão	31/12/2019	4	5	0.00	26.9	23.8	92	85	1.3	0.0150
Verão	31/12/2019	5	6	0.00	26.9	23.5	93	92	1.1	0.0142
Verão	31/12/2019	6	7	0.00	26.9	22.3	93	93	2	0.0123
Verão	31/12/2019	7	8	0.00	26.9	22.2	94	93	1.2	0.0118
Verão	31/12/2019	8	9	0.00	26.9	23	94	93	0.6	0.0132
Verão	31/12/2019	9	10	0.02	26.9	23.3	94	93	1.3	0.0253
Verão	31/12/2019	10	11	0.15	26.9	23.5	94	94	1.3	0.0780
Verão	31/12/2019	11	12	1.18	26.9	23.9	94	91	1	0.1674
Verão	31/12/2019	12	13	1.44	26.9	25.2	92	82	1.9	0.2549
Verão	31/12/2019	13	14	1.35	26.9	25.5	86	82	1.1	0.3635
Verão	31/12/2019	14	15	2.08	26.9	25.9	86	74	1.4	0.4436
Verão	31/12/2019	15	16	3.66	26.9	27.3	78	68	1.7	0.4817
Verão	31/12/2019	16	17	3.46	26.9	27.6	73	67	1.2	0.4702
Verão	31/12/2019	17	18	3.23	26.9	28.5	71	63	2.1	0.4260
Verão	31/12/2019	18	19	1.68	26.9	27.9	74	63	1.3	0.3439
Verão	31/12/2019	19	20	0.65	26.9	26.5	78	74	1.2	0.2361
Verão	31/12/2019	20	21	0.46	26.9	26.4	78	73	1	0.1286
Verão	31/12/2019	21	22	0.14	26.9	26.3	78	72	0.5	0.0492
Verão	31/12/2019	22	23	0.00	26.9	25.9	81	78	1.3	0.0237
Verão	31/12/2019	23	24	0.00	26.9	26.2	80	73	1.6	0.0219

(b)



(c)

Fonte: O autor (2024).

(c)



Fonte: O autor (2024).

FIGURA 2.9 – FORMULÁRIO “Anexos”, CONTENDO VALORES E INFORMAÇÕES DO TIPO CLIMÁTICO E FUNÇÕES DOS MODELOS DO *Módulo*_{ET_o,h-d}, PARA CALCULAR A ET_o HORÁRIA E DIÁRIA COM OS MODELOS PADRÃO E ALTERNATIVOS (ADAPTADOS E REDUZIDOS), SENDO: a) OPÇÕES PARA SELEÇÃO DOS CLIMAS, MODELOS HORÁRIOS, COEFICIENTES “a” e “b” HORÁRIOS DO MODELO *MJS* E VALORES DE AJUSTE CONFORME CLIMA; b) OPÇÕES PARA SELEÇÃO DOS MODELOS DIÁRIOS, COEFICIENTES “a” E “b” DIÁRIOS DO MODELO *MJS* E VALORES DE AJUSTE CONFORME CLIMA; c) VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS HORÁRIAS E DIÁRIAS (GERAL) DO BANCO DE DADOS INTERNO; E, d) DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES DOS MODELOS.

(a)

Anexos				
Voltar ao início ET_o horária ET_o diária				
Climas	Modelos horários	Coefficiente horário "a"	Coefficiente horário "b"	Ajuste
Af	ASCE-PM (<i>ET_oASCE_h</i>)	-5.33E-02	-7.01E-06	1 hora
As	Penman-Monteith-Reduzido-Temperatura (<i>ET_oPMR_h</i>)	-5.93E-02	-6.67E-06	2 horas
Am	Moretti-Jerszurki-Silva-Temperatura (<i>ET_oMJS_h</i>)	-3.04E-03	-4.49E-06	1 hora
Aw	Moretti-Jerszurki-Silva-Ajustado-Temperatura (<i>ET_oMJS_{ah}</i>)	2.65E-02	-3.14E-06	2 horas
BSi	Turc-Ajustado-Temperatura (<i>ET_oTC_{ah}</i>)	1.23E-02	-3.23E-06	2 horas
CJa	Moretti-Jerszurki-Silva (<i>ET_oMJS_h</i>)	-1.33E-02	-5.87E-06	2 horas
CJb	Moretti-Jerszurki-Silva-Ajustado (<i>ET_oMJS_{ah}</i>)	2.34E-02	-4.82E-06	2 horas
CJa	Turc-Ajustado (<i>ET_oTC_{ah}</i>)	1.66E-02	-3.74E-06	2 horas
CJb	Turc-Ajustado (<i>ET_oTC_{ah}</i>)	1.71E-02	-4.06E-06	2 horas

(b)

Coefficiente diário "a"	Coefficiente diário "b"	Modelos diários
2.35E+00	-4.90E-02	ASCE-PM (<i>ET_oASCE_d</i>)
1.40E+00	7.91E-02	Moretti-Jerszurki-Silva-Temperatura (<i>ET_oMJS_d</i>)
1.79E+00	-7.63E-02	Penman-Monteith-Reduzido-Temperatura (<i>ET_oPMR_d</i>)
1.66E+00	-8.61E-02	Turc-Ajustado-Temperatura (<i>ET_oTC_d</i>)
2.34E+00	-3.81E-02	Moretti-Jerszurki-Silva (<i>ET_oMJS_d</i>)
7.88E-01	-6.70E-02	Turc (<i>ET_oTC_d</i>)
1.58E+00	-3.86E-02	
2.69E+00	-1.92E-02	
2.56E+00	-1.71E-02	

(c)

Hora	Média, por hora, das variáveis, clima Af				
	URmedh	Rsmedh	u2medh	eamedh	Rnmedh
0	82.6467	0.01606	0.92922	2.48034	-0.0271
1	84.0609	0.01432	0.82874	2.47821	-0.0035
2	85.3738	0.01344	0.72269	2.48002	-0.0001
3	86.3772	0.01287	0.65421	2.47371	-0.0005
4	87.2955	0.01406	0.62031	2.46738	0.00037
5	88.1091	0.01509	0.59228	2.46019	0.00085
6	88.6816	0.01465	0.56835	2.45077	0.00059
7	89.1327	0.01486	0.54044	2.44168	0.00068
8	89.5578	0.01853	0.52567	2.43441	0.00329
9	89.6009	0.0745	0.55548	2.4384	0.04598
10	91.9347	0.34492	0.83765	2.59568	0.24007
11	86.5937	0.75372	1.1643	2.41862	0.54431
12	78.7497	1.2041	1.33804	2.62854	0.88915
13	71.5318	1.74029	1.48193	2.57812	1.30006
14	66.1648	2.12953	1.59574	2.53127	1.59811
15	62.6594	2.265	1.71207	2.49223	1.70106
16	61.0233	2.18664	1.8268	2.46856	1.63994
17	61.236	1.91973	1.93153	2.46662	1.43447
18	63.2459	1.51849	1.98355	2.48297	1.12637
19	66.6611	1.01308	1.93958	2.50779	0.73845
20	69.9938	0.48038	1.632	2.48593	0.32878
21	73.9655	0.113	1.29557	2.46178	0.04584
22	78.3567	0.02082	1.14233	2.47704	-0.0241
23	80.9856	0.01747	1.03533	2.48262	-0.0262
Geral	78.4974	1.59156	1.14391	2.48679	0.48153

(d)

Evapotranspiração de referência (ET _o), com o modelo Penman-Monteith proposto por Allen et al. (1998) e modificados, para periodicidade horária (ET _o ; ASCE-ENWR, 2005)	
$ET_o = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{(T + 273)} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)}$	
Send: ET_o – Evapotranspiração de referência padronizada para cultura do porte baixo (ET_{ob}) ou alta (ET_{oa}) (mm h⁻¹); Δ – derivada da curva de pressão de vapor da água a temperatura do ar (kPa °C⁻¹); R_n – radiação líquida na superfície (MJ m⁻² h⁻¹); G – taxa de fluxo de calor no solo (MJ m⁻² h⁻¹); γ – constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); C_u – constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados, sendo considerada igual a 17 para plantas rastrizas (gramas) e 66 para plantas de porte maior (arvores); T – temperatura média do ar (°C); u₂ – velocidade da vento a dois metros de altura (m s⁻¹); e_s – pressão de saturação do vapor (kPa); e_a – pressão atual do vapor (kPa); C_u – constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados (adimensional), sendo 0.34 para períodos de dia e 0.96 para períodos da noite para plantas rastrizas; e, 0.25 para períodos de dia e 1.7 para noturnos para plantas de porte maior).	
Pressão atmosférica (P; kPa) $P = 101.3 \cdot \left(\frac{293 - 0.0065 \cdot Z}{293} \right)^{5.26}$ Send: P – pressão atmosférica (kPa); Z – altitude (m)	
Constante psicrométrica (γ; kPa °C⁻¹) $\gamma = a \cdot P$ Send: γ – constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); a – coeficiente dependente do tipo de ventilação do bulbo úmido (a = 0.00044) para psicômetros de ventilação natural; P – pressão atmosférica (kPa).	
Temperatura média diária do ar (T_{md}; °C) $T_{md} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$ Send: T – Temperaturas médias horárias do ar (°C); T_{md} – Temperatura máxima horária do ar (°C); T_{mn} – Temperatura mínima horária do ar (°C).	
Declinação da curva de pressão de saturação do vapor (Δ; kPa °C⁻¹) $\Delta = \frac{2503 \cdot \exp\left(\frac{17.27 \cdot T_{md}}{T_{md} + 237.3}\right)}{(T_{md} + 237.3)^2}$ Send: Δ – declinação da curva de pressão de saturação do vapor (kPa °C⁻¹); T_{md} – temperatura média horária do ar (°C).	
Pressão de saturação do vapor (e_s; kPa) $e_s = \frac{e^0(T_{md}) + e^0(T_{min})}{2} \quad \text{ou} \quad e^0 = 0.6108 \cdot \exp\left(\frac{17.27 \cdot T}{T + 237.3}\right)$ Send: e_s – pressão de saturação do vapor (kPa); e⁰(T_{md}) – pressão de saturação do vapor considerando a temperatura média diária do ar (kPa); e⁰(T_{min}) – pressão de saturação do vapor considerando a temperatura mínima diária do ar (kPa).	

Fonte: O autor (2024).

Os valores médios das “variáveis” climáticas necessárias como entrada, na periodicidade horária ou diária, nos modelos adaptados/reduzidos (tendo apenas a temperatura variando: *ET_oPMR_h*; *ET_oMJS(ψ_{ar})La.ht*; *ET_oT.ah*; *ET_oPMR_d*; *ET_oMJS(ψ_{ar})L.dt*; e *ET_oT.dt*), já se encontram automatizados na planilha (FIGURAS 2.7a e 2.8a). Logo, basta o usuário escolher na caixa de opções o tipo climático brasileiro (Af, Am, As,

Aw, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* e *Cwb*) em que a estação meteorológica em análise se encontra. O ajuste do modelo *MJS*, na periodicidade horária, encontra-se também automatizado conforme clima brasileiro. O ajuste horário ocorreu conforme critérios estabelecidos e analisados no Capítulo III. Desta forma, se o clima da estação meteorológica analisada for *Af* ou *Am*, automaticamente o ajuste é de uma hora. Se o clima for *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* ou *Cwb*, o ajuste é de duas horas. Os ajustes dos descompassos, conforme os climas, estão dispostos nos “Anexos” do *Módulo_{ETo.h-d}* (FIGURA 2.9a). Os coeficientes “*a*” e “*b*” horários ou diários do modelo *MJS* são disponibilizados automaticamente, conforme formulário “Anexos” do banco de dados do *Módulo_{ETo.h-d}* (FIGURAS 2.9a e 2.9b) e clima escolhido na caixa de opções. Gráficos de medidas de tendência central das *ETo* horárias (FIGURAS 2.7c) ou diárias (FIGURA 2.8c) também são disponibilizados, facilitando a verificação e visualização das magnitudes e amplitudes das *ETo* estimadas.

Selecionando-se o modelo *PMR* (FIGURAS 2.7a e 2.8a), periodicidade (horária ou diária) e tipo climático nas caixas de opção, o usuário deverá adicionar os dados necessários para estimar a *ETo* do local analisado. As médias das variáveis climáticas (*UR*, *Rs*, *u₂*, *ea* e *Rn*) são disponibilizadas automaticamente, conforme o tipo climático escolhido na caixa de opção, sendo provenientes do Formulário “Anexos”, do banco de dados do *Módulo_{ETo.h-d}* (FIGURA 2.9c). Logo, será necessária apenas a inclusão das temperaturas máxima e mínima do ar da série e datas e/ou horários de início e fim do período que se deseja realizar os cálculos (FIGURAS 2.7b e 2.8b).

Em caso de dúvidas quanto aos cálculos internos, que são realizados com rotinas desenvolvidas na linguagem de programação do *VBA-Macro* (FIGURA 2.9), basta o usuário verificar as funções que estão descritas no Formulário “Anexos” (FIGURA 2.12d). Todas as rotinas das equações utilizadas foram escritas em linguagem de programação do *VBA-Macro* como *functions*, permitindo a estimativas das *ETo* com as metodologias *ASCE*, *MJS*, *PMR* ou *Turc*, na periodicidade horária e diária, sem necessidade de inclusão manual da equação na planilha (APÊNDICE 2; QUADRO A2.1). Cada modelo também foi disponibilizado como *function* no *Módulo_{ETo.h-d}* (APÊNDICE 2; QUADRO A2.2).

2.5.3 Vantagens e desvantagens do *Módulo_{ETo.h-d}*, em relação aos programas que estimam a *ETo*

Muitos modelos que estimam a *ETo* não se encontram automatizados, como é o caso dos modelos *PMR*, *Turc* e *MJS* (Turc, 1961; Jerszurki et al., 2017; Paredes et al., 2020). O modelo *Turc* possibilita a estimativa da *ETo* horária e diária, mas a periodicidade horária ainda não foi explorada. O *Módulo_{ETo.h-d}* possibilita o cálculo de modelos comumente utilizados na literatura para a estimativa da *ETo*, possuindo interface simples. Por estar incluído em planilha eletrônica, o usuário não precisa se preocupar com a instalação ou modificações de arquivos para importação ou exportação de dados.

Dentre os programas existentes e utilizados para a estimativa da *ETo*, o “*FAO ETo Calculator*” destaca-se e foi desenvolvido pela “*Food and Agricultural Organization of the United Nation*”, em 2009 (FAO, 2009). O programa já foi amplamente testado para estimar a *ETo* em diferentes localidades e climas mundiais, sendo usualmente utilizado para comparações com novos programas/sistemas desenvolvidos para estimar a *ETo* (Guo et al., 2016). O “*FAO ETo Calculator*” tem fácil acesso e é gratuito, mas precisa ser instalado no computador. O “*Evapotranspiration*”, desenvolvido no software R (Guo et al., 2022) também é gratuito, mas o usuário necessita do conhecimento de linguagem de programação R para a utilização dos comandos existentes no pacote. Há necessidade de importação de dados e muitas rotinas “solitas” nos cálculos são necessárias conforme o modelo de estimativa da *ETo* utilizado. O banco de dados do *Evapotranspiration* também é limitado quanto à periodicidade e inserção de localidades, além da existente no pacote.

Até o momento, ainda não existem pacotes R que calculem os modelos *MJS*, *PMR* e *Turc* modificado para periodicidade horária. O módulo “*®M.ETo_{ASCE.e.MJS}* da Plataforma Moretti” (Jerszurki et al., 2017; Oliveira, 2018; Santos et al., 2021b; Rosa, 2023), apesar de apresentar interface muito similar ao *Módulo_{ETo.h-d}* e permitir estimativas horárias e diárias com os modelos *ASCE* e *MJS*, não calcula os modelos *PMR* e *Turc* nas periodicidades diária e horária. Também não apresenta a opção de importação dos dados meteorológicos horários para reutilização no diário (FIGURA 2.5a). Assim, o usuário precisa adicionar os dados manualmente, o que pode contribuir com erros.

A interface do *Módulo_{ETo.h-d}* em comparação ao “*FAO ETo Calculator*” apresenta facilidades quanto à periodicidade de análise e número de modelos incluídos para realização das estimativas. O “*FAO ETo Calculator*” estima a *ETo* diária apenas com o modelo Penman-Monteith padrão. O *Módulo_{ETo.h-d}* possibilita a realização de estimativas da *ETo* com modelos para periodicidade horária e diária (FIGURA 2.3) e o usuário pode estabelecer ou agrupar valores de *ETo* mensal, caso deseje.

A importação dos dados no “*FAO ETo Calculator*” exige organização de colunas não nomeadas e em arquivo tipo “CXT”. Posteriormente, o usuário precisa selecionar no programa o nome da variável e sua unidade de medida, conforme respectiva coluna de dados. O processo, por ser manual, pode proporcionar erros e dispende tempo do usuário. No *Módulo_{ETo.h-d}* a operação é mais simples, bastando que o usuário “copie” e “cole” os valores de entrada que já se encontram indicados com suas respectivas unidades de medida, facilitando o uso e evitando erros de seleção. O “*FAO ETo Calculator*” também permite inclusão manual dos dados. Contudo, não tem os comandos “copiar” e “colar” e os valores precisam ser digitados individualmente (um a um). Logo, a estimativa da *ETo* mensal (30 dias) para algumas localidades é possível, mas trabalhosa. O procedimento torna-se inviável quando o estudo analisa muitas localidades e/ou longas séries de dados.

Um aspecto positivo do “*FAO ETo Calculator*” consiste na exportação dos resultados da estimativa da *ETo* junto dos dados climáticos que foram importados. Apesar de serem salvos em arquivo CXT, as colunas do arquivo CXT exportado são identificadas, facilitando posterior análises dos resultados. Contudo, essa facilidade também está disponível no *Módulo_{ETo.h-d}*.

O *Módulo_{ETo.h-d}* foi desenvolvido em planilha eletrônica, e a maioria das pessoas que utilizam e analisam dados ambientais estão habituadas com esse ambiente de trabalho. Assim, as atividades de utilização no *Módulo_{ETo.h-d}* ficaram muito intuitivas. O arquivo contendo o módulo não precisa ser instalado, apenas aberto. Os botões de comando e caixas de opções dos formulários estão associados a rotinas em linguagem de programação VBA-Macro, que realizam praticamente todos os cálculos e procedimentos necessários (FIGURAS 2.10 e 2.11).

2.5.4 Testes das rotinas de cálculo dos modelos ASCE e MJS no Módulo_{ETo.h-d}, na periodicidade diária e horária

a) Comparação das *ETo* diárias estimadas com o Módulo_{ETo.h-d} e [®]M.ETo_{ASCE.e.MJS}

As análises de regressão linear entre os respectivos valores de *ETo* diários estimados no módulo “[®]M.ETo_{ASCE.e.MJS} da Plataforma Moretti” e Módulo_{ETo.h-d} foram estreitas e próximas da reta de 45° (linha 1:1 tracejada que se encontra nos gráficos; FIGURA 2.10), para os modelos ASCE e MJS.

Os indicadores estatísticos evidenciaram ótimas associações entre as *ETo* diárias obtidas com os modelos ASCE e MJS, no [®]M.ETo_{ASCE.e.MJS} e Módulo_{ETo.h-d} (TABELA 2.1), para todos os tipos climáticos brasileiros analisados. Os resultados indicaram confiabilidade das rotinas de cálculo desenvolvidas no Módulo_{ETo.h-d}.

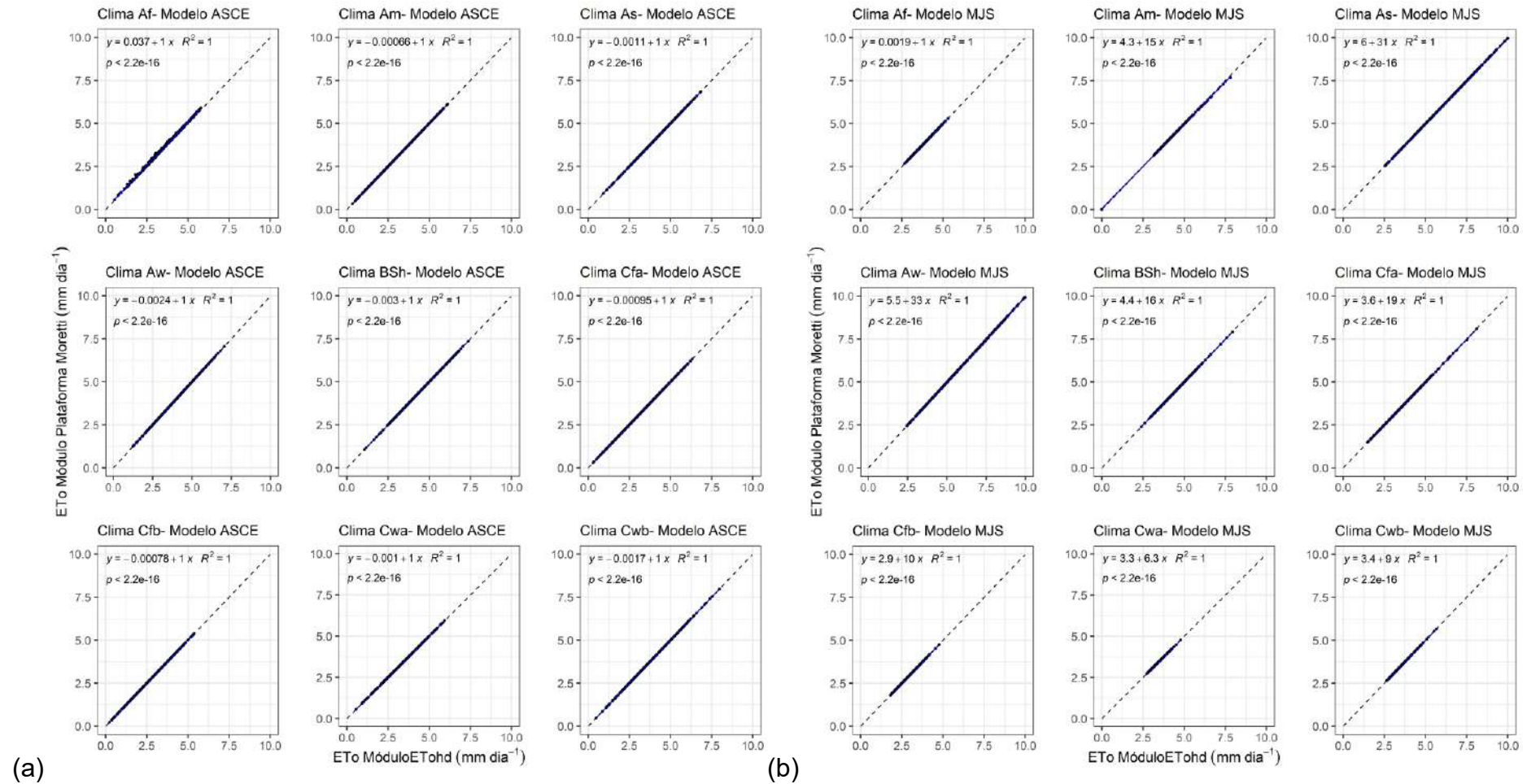
TABELA 2.1 – INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NAS ASSOCIAÇÕES ENTRE EVAPOTRANSPIRAÇÕES DE REFERÊNCIA DIÁRIA, ESTIMADAS COM O MÓDULO “[®]M.ETo_{ASCE.e.MJS} DA PLATAFORMA MORETTI” E Módulo_{ETo.h-d}, PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (*Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* E *Cwb*), CONSIDERANDO OS MODELOS: AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE) E MORETTI-JERSZURKI-SILVA (MJS).

Clima	----- Associações ASCE -----			----- Associações MJS -----		
	<i>r</i> ⁽¹⁾	<i>RMSE</i> ⁽²⁾	<i>NSE</i> ⁽³⁾	<i>r</i> ⁽¹⁾	<i>RMSE</i> ⁽²⁾	<i>NSE</i> ⁽³⁾
<i>Af</i>	1,00	0,08	0,99	1,00	0,00	1,00
<i>Am</i>	1,00	0,00	1,00	1,00	0,01	1,00
<i>As</i>	1,00	0,00	1,00	1,00	0,01	1,00
<i>Aw</i>	1,00	0,00	1,00	1,00	0,01	1,00
<i>BSh</i>	1,00	0,00	1,00	0,99	0,04	0,97
<i>Cfa</i>	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00
<i>Cfb</i>	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00
<i>Cwa</i>	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00
<i>Cwb</i>	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	1,00

⁽¹⁾ *r* – coeficiente de correlação (adimensional); ⁽²⁾ *RMSE* – raiz quadrada do erro quadrado médio (mm dia⁻¹); ⁽³⁾ *NSE* – eficiência de Nash-Sutcliffe (adimensional).

Sousa (2012), testando programas de estimativa da *ETo* diária, verificaram diferenças de até 0,56 mm dia⁻¹ e consideraram que o valor não representou risco para o manejo da irrigação. As *ETo* calculadas no Módulo_{ETo.h-d} e [®]M.ETo_{ASCE.e.MJS}, com os modelos ASCE e MJS, resultaram em *RMSE* de até 0,04 mm dia⁻¹ (TABELA 2.1), indicando pequenos desvios entre os respectivos valores estimados nos modelos testados nos dois Módulos. Tegos et al. (2017), comparando modelos de estimativas da *ETo* tendo o modelo ASCE como padrão, consideraram que *NSE* abaixo de 0,5 indicaram baixa capacidade preditiva. A associação dos resultados obtidos no Módulo_{ETo.h-d} e [®]M.ETo_{ASCE.e.MJS} indicaram *NSE* igual à 1,00 e maior que 0,97 para os modelos ASCE e MJS, respectivamente, em todos em climas brasileiros analisados.

FIGURA 2.10 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE OS RESPECTIVOS VALORES DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) DIÁRIA, ESTIMADA COM O MÓDULO “ ET_o ASCE e MJS DA PLATAFORMA MORETTI” E $Módulo_{ET_o,h-d}$, REALIZADAS PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa E Cwb), PARA OS MODELOS: a) AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE); E, b) MORETTI-JERSZURKI-SILVA (MJS).



Fonte: O autor (2024).

b) Comparação entre as ETo horárias estimadas com o $Módulo_{ETo.h-d}$ e ${}^{\circ}M..ETo_{ASCE.e.MJS}$

As análises de regressão linear entre os respectivos valores de ETo horários estimados nos módulos ${}^{\circ}M..ETo_{ASCE.e.MJS}$ e $Módulo_{ETo.h-d}$ também foram estreitas e próximas da reta de 45° (linha 1:1 tracejada que se encontra nos gráficos; FIGURA 2.11). O modelo MJS horário não apresentou relação tão estreita quanto o modelo $ASCE$.

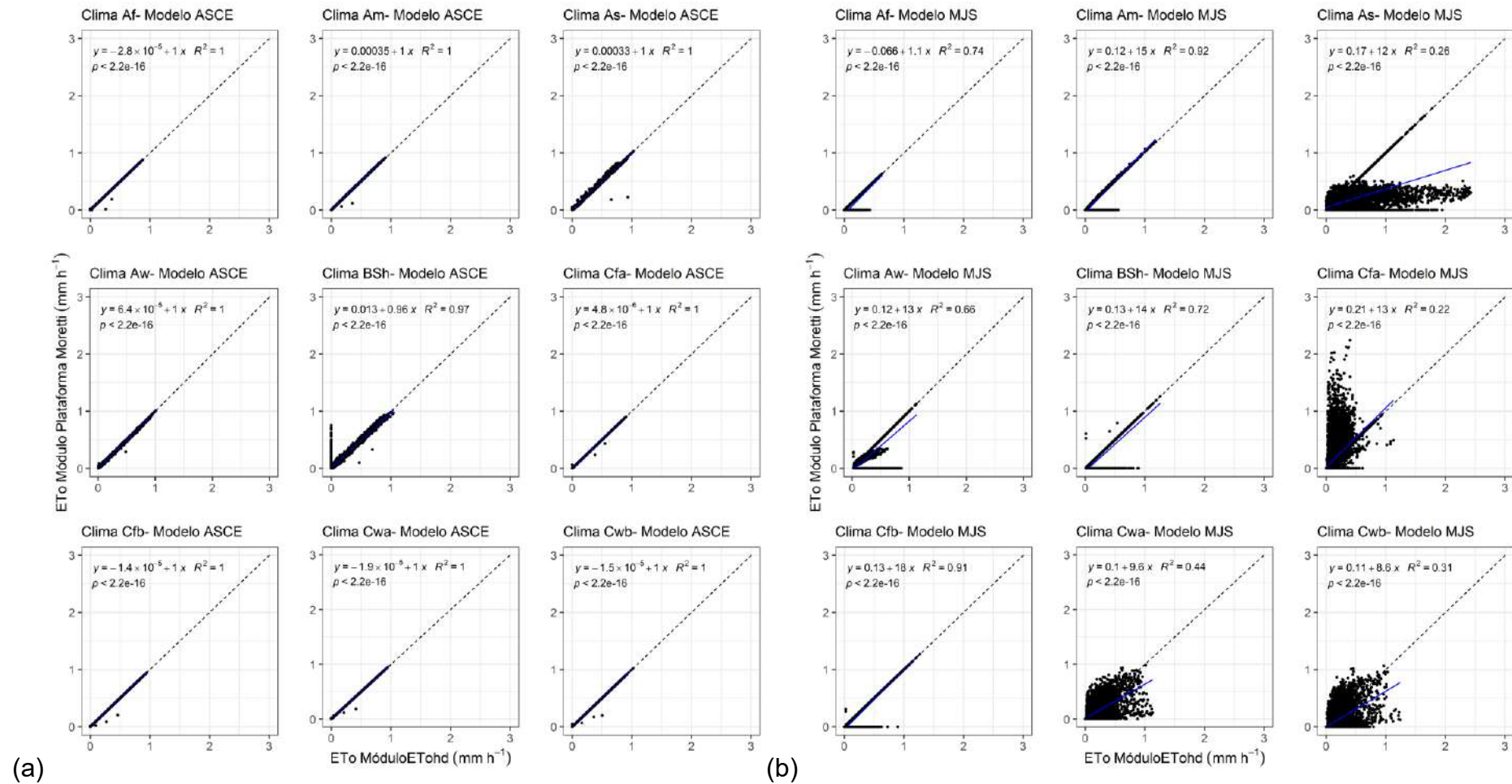
Os indicadores estatísticos evidenciaram ótimas associações entre as ETo horárias obtidas com o modelo $ASCE$ no ${}^{\circ}M..ETo_{ASCE.e.MJS}$ e $Módulo_{ETo.h-d}$ (TABELA 2.2), para todos os tipos climáticos brasileiros analisados. Os resultados também indicaram confiabilidade das rotinas de cálculo desenvolvidas no $Módulo_{ETo.h-d}$ para periodicidade horária. O modelo MJS , em relação ao $ASCE$, não apresentou desempenho tão bom dos indicadores estatísticos (TABELA 2.2). A diferença nas estimativas da ETo com o modelo MJS nos dois Módulos deveu-se ao procedimento metodológico considerado no período noturno. No $Módulo_{ETo.h-d}$ são contabilizados valores de ETo no período noturno, enquanto no ${}^{\circ}M..ETo_{ASCE.e.MJS}$ o modelo MJS sempre retorna $ETo_{horária} = 0$ quando o $Rn = 0$.

TABELA 2.2 – INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NAS ASSOCIAÇÕES ENTRE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA, ESTIMADAS COM O MÓDULO “ ${}^{\circ}M..ETo_{ASCE.e.MJS}$ DA PLATAFORMA MORETTI” E $Módulo_{ETo.h-d}$, PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa E Cwb), CONSIDERANDO OS MODELOS: AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS ($ASCE$) E MORETTI-JERSZURKI-SILVA (MJS), COM ESTIMATIVAS DE ETo NOTURNAS E SEM PERÍODO NOTURNO (MJS_{sn}).

Clima	--- Associações $ASCE$ ---			--- Associações MJS ---			Associações MJS_{sn} Com período noturno zerado		
	$r^{(1)}$	$RMSE^{(2)}$	$NSE^{(3)}$	$r^{(1)}$	$RMSE^{(2)}$	$NSE^{(3)}$	$r^{(1)}$	$RMSE^{(2)}$	$NSE^{(3)}$
Af	1,00	0,00	1,00	0,86	0,09	0,60	1,00	0,00	1,00
Am	1,00	0,01	1,00	0,96	0,06	0,89	1,00	0,01	1,00
As	1,00	0,01	1,00	0,86	0,23	0,67	1,00	0,02	1,00
Aw	1,00	0,01	1,00	0,81	0,12	0,50	0,99	0,02	0,99
BSh	0,99	0,04	0,97	0,85	0,11	0,63	1,00	0,01	1,00
Cfa	1,00	0,00	1,00	0,88	0,09	0,66	1,00	0,02	0,99
Cfb	1,00	0,00	1,00	0,96	0,07	0,87	1,00	0,00	1,00
Cwa	1,00	0,00	1,00	0,95	0,06	0,89	1,00	0,01	1,00
Cwb	1,00	0,00	1,00	0,87	0,10	0,65	1,00	0,01	1,00

⁽¹⁾ r – coeficiente de correlação (adimensional); ⁽²⁾ $RMSE$ – raiz quadrada do erro quadrado médio (mm hora⁻¹); ⁽³⁾ NSE – eficiência de Nash-Sutcliffe (adimensional).

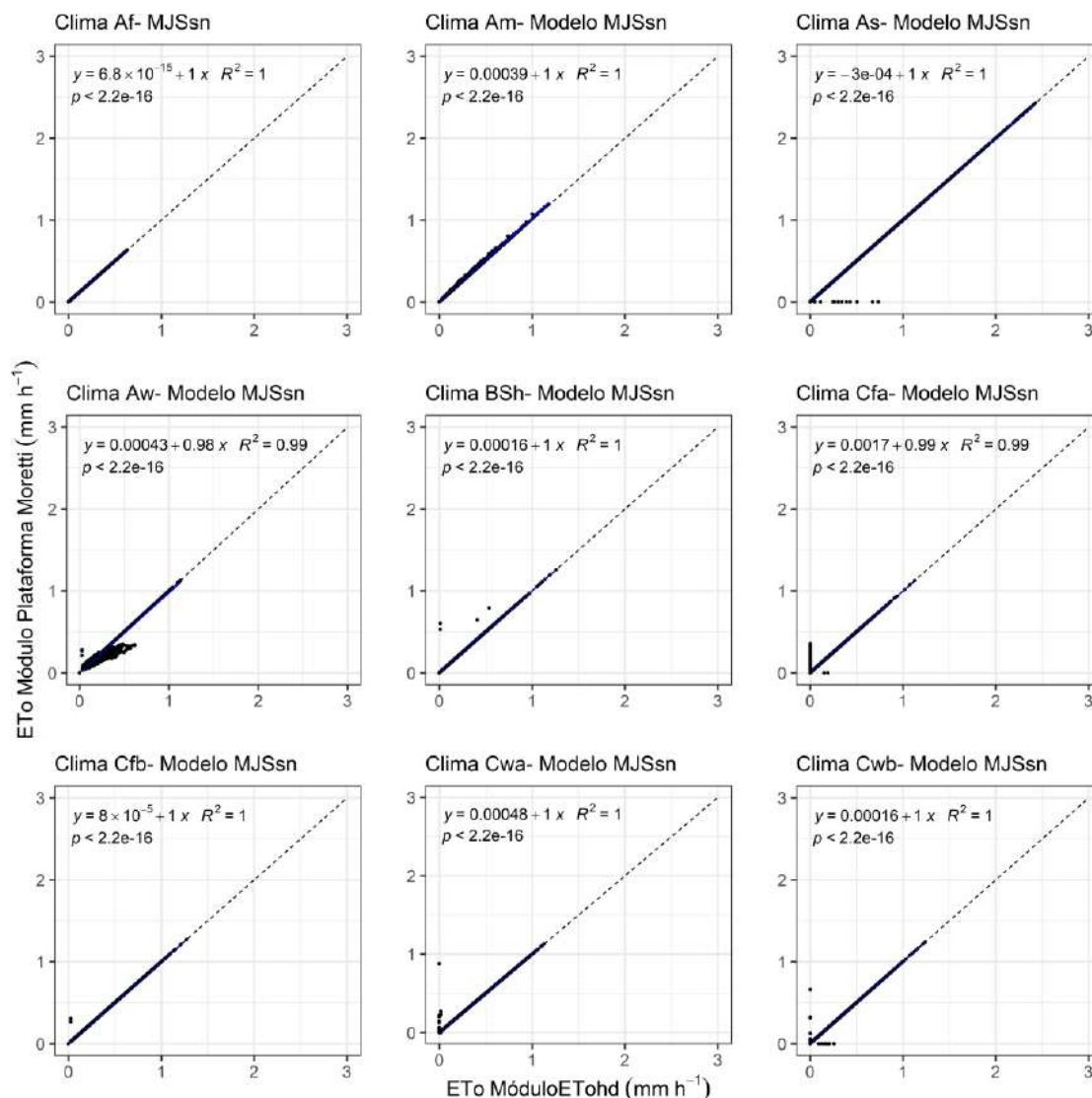
FIGURA 2.11 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE OS RESPECTIVOS VALORES DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ETo) HORÁRIA, ESTIMADA COM O MÓDULO “ $M.ETo_{ASCE.e.MJS}$ DA PLATAFORMA MORETTI” E $Módulo_{ETo,h-d}$, REALIZADAS PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa E Cwb), PARA OS MODELOS: a) AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE); E, b) MORETTI-JERSZURKISILVA (MJS).



Fonte: O autor (2024).

Realizando-se um cenário com o *Módulo_{ETo,h-d}*, zerando os valores noturnos da *ETo* estimada com o modelo *MJS* (TABELA 2.2 e FIGURA 2.12), verificou-se ótimos indicadores estatísticos nas associações entre as *ETo* horárias obtidas no *®M.ETo_{ASCE.e.MJS}* e *Módulo_{ETo,h-d}*. O resultado evidenciou que as diferenças das *ETo* horárias realmente ocorreram devido aos aspectos metodológicos utilizados. No entanto, mesmo no cenário, é importante observar que pequenas diferenças metodológicas ainda permaneceram nos dois Módulos, pois o *®M.ETo_{ASCE.e.MJS}* permite a ocorrência de valores negativos da *ETo* para os modelos *ASCE* e *MJS*.

FIGURA 2.12 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE OS RESPECTIVOS VALORES DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (*ETo*) HORÁRIA, ESTIMADA COM O MÓDULO “*®M.ETo_{ASCE.e.MJS}* DA PLATAFORMA MORETTI” E *Módulo_{ETo,h-d}*, REALIZADAS PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (*Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa* E *Cwb*), PARA O MODELO MORETTI-JERSZURKI-SILVA DESCONSIDERANDO VALORES NOTURNOS DE *ETo* (*MJS_{sn}*).



Fonte: O autor (2024).

c) Comparação entre as ET_o diárias estimada com o $Módulo_{ET_o.h-d}$ e “FAO ET_o Calculator”

O modelo ASCE foi proposto pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE-EWRI, 2005; Equação 2.1), contendo modificações nos coeficientes cn e cd do modelo Penman-Monteith para periodicidade diária, conforme o porte da planta (Allen et al. 1998). As modificações permitiram maior precisão das estimativas da ET_o (Gavilán et al., 2007; Carvalho et al., 2011; Alencar et al., 2015; Lacerda e Turco, 2015). Assim, os cálculos da ET_o diária com o $Módulo_{ET_o.h-d}$ (que considera o modelo ASCE) e programa “FAO ET_o Calculator” (que considera o modelo FAO) apresentam valores similares, mas não iguais. Pequenas variações dos valores também ocorreram devido às diferenças nas metodologias. Algumas equações internas utilizadas no “FAO ET_o Calculator” para a estimativa da ET_o não estão descritas com todos os detalhes, havendo possibilidade de pequenas variações nos valores por esse motivo.

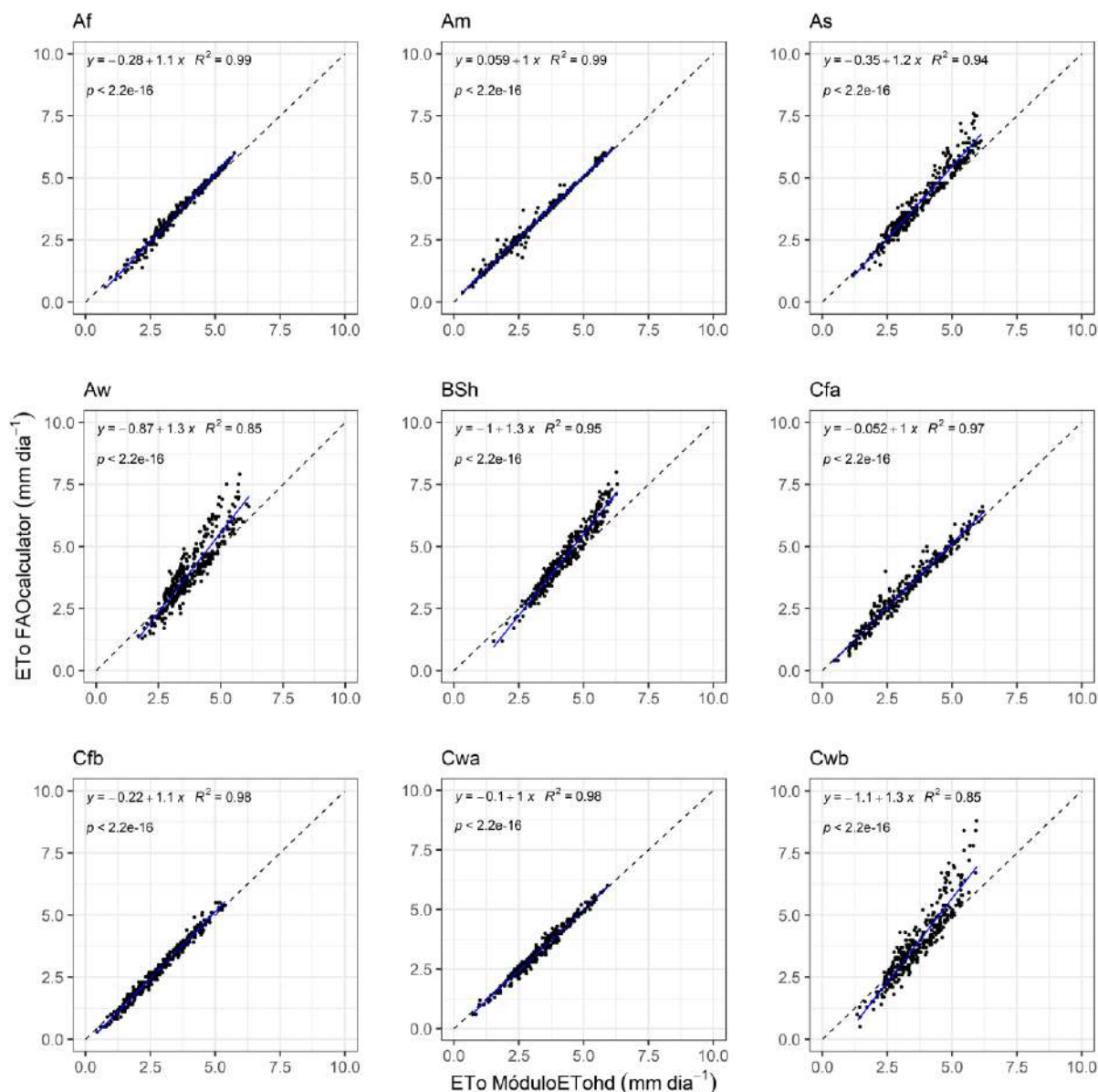
As associações das análises de regressão linear entre respectivos valores de “ $ET_o_{FAOcalculator}$ vs $ET_o_{MóduloET_o.h-d}$ ” foram estreitas e próximas da reta de 45° (linha 1:1 tracejada que se encontra nos gráficos; FIGURA 2.13). Os indicadores estatísticos também evidenciaram confiabilidade das rotinas desenvolvidas no $Módulo_{ET_o.h-d}$, para calcular a ET_o com o modelo ASCE padrão, na periodicidade diária (TABELA 2.3).

TABELA 2.3 – INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NAS ASSOCIAÇÕES ENTRE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA, ESTIMADA COM O PROGRAMA “FAO ET_o Calculator” ($ET_o_{FAOcalculator}$) E $Módulo_{ET_o.h-d}$ ($ET_o_{MóduloET_o.h-d}$), PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (*Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa* E *Cwb*).

----- Associações entre valores diários de $ET_o_{FAOcalculator}$ vs $ET_o_{MóduloET_o.h-d}$ -----			
Clima	----- Indicadores -----		
	$r^{(1)}$	$RMSE^{(2)}$	$NSE^{(3)}$
<i>Af</i>	0,99	0,16	0,98
<i>Am</i>	0,99	0,16	0,99
<i>As</i>	0,97	0,46	0,88
<i>Aw</i>	0,92	0,61	0,78
<i>BSh</i>	0,97	0,51	0,84
<i>Cfa</i>	0,98	0,26	0,97
<i>Cfb</i>	0,99	0,18	0,98
<i>Cwa</i>	0,99	0,16	0,98
<i>Cwb</i>	0,92	0,65	0,78

⁽¹⁾ r – coeficiente de correlação (adimensional); ⁽²⁾ $RMSE$ – raiz quadrada do erro quadrado médio (mm dia⁻¹); ⁽³⁾ NSE – eficiência de Nash-Sutcliffe (adimensional).

FIGURA 2.13 – REGRESSÕES LINEARES ENTRE OS RESPECTIVOS VALORES DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) DIÁRIA, ESTIMADA COM O PROGRAMA “FAO ET_o Calculator” ($ET_{oFAOcalculator}$) E $MóduloET_{o,h-d}$ ($ET_{oMóduloET_{o,h-d}}$), REALIZADAS PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa E Cwb).



Fonte: O autor (2024).

Os indicadores das associações realizadas para os climas Aw e Cwb apresentaram menores desempenhos estatísticos (TABELA 2.3), sendo: $r = 0,92$ e $NSE = 0,78$ para ambos os climas; e $RMSE$ igual à $0,61 \text{ mm dia}^{-1}$ no clima Aw e $0,65 \text{ mm dia}^{-1}$ para o Cwb. Sousa (2012), obteve diferença máxima de $0,56 \text{ mm dia}^{-1}$ entre as ET_o estimadas com o programa PROCAL_ETO e o “FAO ET_o Calculator”, nas localidades onde foram observados os melhores resultados. O autor

considerou que as diferenças não representam riscos para o manejo da irrigação. Contudo, em algumas localidades o autor obteve diferenças entre 3,91 e 3,11 mm dia⁻¹, devido aos valores estimados de R_s . No *Módulo_{ETo.h-d}* a R_s não é estimada, sendo obtidos os valores medidos em estações meteorológicas selecionadas, o que favoreceu a ocorrência de menores diferenças, que foram observadas apenas nos climas *Aw* e *Cwb* (*RMSE* iguais à 0,61 e 0,65 para os climas *Aw* e *Cwb*, respectivamente).

Apesar das diferenças maiores que 0,53 mm dia⁻¹ nos climas *Aw* e *Cwb*, Oliveira (2018) associando estimativas de *ETo* diária obteve valores de *RMSE* entre 0,33 a 1,4 mm dia⁻¹. A autora considerou os resultados adequados baseando-se na literatura (Djaman et al., 2016; Liu et al., 2017). Embora os climas *Aw* e *Cwb* tenham apresentado os maiores *RMSE* (TABELA 2.3) nas análises comparativas, os valores foram inferiores a 1,4 mm dia⁻¹, compreendendo baixas diferenças e bons resultados.

Oliveira (2018) considerou boas as associações com coeficientes de correlação (r) acima de 0,50, e Tegos et al. (2017) consideraram baixos os $NSE < 0,50$, indicando baixa capacidade preditiva. Nas análises realizadas, obteve-se $r \geq 0,92$ e $NSE \geq 0,78$ para todos os tipos climáticos brasileiros (TABELA 2.3), indicando resultados satisfatórios para o *Módulo_{ETo.h-d}* testado.

Os testes realizados indicaram que o *Módulo_{ETo.h-d}* obteve boas estimativas das séries de *ETo* diária e horária, com mecanismos de fácil utilização, contendo no mesmo ambiente modelos *ASCE* e adaptados/reduzidos (*PMR*, *MJS* e *Turc*).

2.6 CONCLUSÕES

- *Módulo_{MJS-A}* e *Módulo_{ETo.h-d}* possibilitaram analisar grandes série de dados climáticos (respeitando o limite de entradas no próprio Excel) de forma rápida e precisa, além de possibilitar estimativas de *ETo* na periodicidade diária e horária com os modelos *ASCE* e alternativos (adaptados/reduzidos) em um mesmo ambiente de trabalho;
- A interface intuitiva do *Módulo_{ETo.h-d}* possibilitou agilidade na realização das estimativas das séries de *ETo* diária e horária, e facilidade de manuseio, não necessitando de instalação do módulo e arquivos em formatos específicos para importação de dados e exportação dos resultados; e,

– As associações entre os respectivos valores de *ETo* estimados com o *Módulo_{ETo,h-d}* em relação aos calculados com “*M.ETo_{ASCE.e.MJS}*” e “*FAO ETo Calculator*” indicaram bom desempenho para a periodicidade diária/horária e diária, respectivamente, mesmo o modelo *ASCE* e procedimentos metodológicos não sendo exatamente iguais entre os sistemas comparados.

2.7 REFERÊNCIAS

ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (*ETo* padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Revista Engenharia Agrícola**. v.35, n.1, p.39-50. 2015. Doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430>.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage**, Roma, FAO, Paper n.56, 1998.

ASCE-EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Report of the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. Reston: **Instituit of the American Society of Civil Engineers**; 2005.

BRITO, S. S. B.; CUNHA, A. P. M. A.; CUNNINGHAM, C. C.; ALVALÁ, R. C.; MARENGO, J. A.; CARVALHO, M. A. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**. 2017. DOI:10.1002/joc.5225.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária**. Trop., Goiânia, v.41, n.3, p.456-465. 2011.

COELHO, J. V. Componentes do ciclo hidrológico e balanço hídrico agrícola provável para a cultura da soja no Estado do Piauí. Curitiba, 2019. 90p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/dissertacao_2019_coelho_j_v.pdf>. Acesso em 05 de setembro de 2023.

DJAMAN, K.; TABARI, H.; BALDE, A. B.; DIOP, L.; FUTAKUCHI, K.; IRMAK, S. Analyses, calibration and validation of evapotranspiration models to predict grassreference evapotranspiration in Senegal River basin. **Journal of Hidrology: Regional studies**, v.8, p.82-94. 2016.

FAO *ETo* Calcutator - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. *ETo Calculator*. Manual (38p) e software Version 3.1. 2009. Land and Walter Digital Media Series No 36. Disponível em:<<https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/eto-calculator/en/>>.

FISHER, D. K.; PRINGLE, H. C. Evaluation of alternative methods for estimating reference evapotranspiration. **Agricultural Sciences**. v.4, p. 51-60. 2013. DOI: 10.4236/as.2013.48A008.

GAVILÁN, P.; BERENGENA, J.; ALLEN, R. G. Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: impact on Penman-Monteith reference ET estimates in semiarid regions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.89, n.3, p. 275-286, 2007.

GUO, D.; WESTRA, S.; MAIER, H. R. An R package for modelling actual, potential and reference evapotranspiration. **Environmental Modelling & Software**, v.78, p.216-224, 2016.

GUO, D.; WESTRA, S.; PETERSON, T. Package 'Evapotranspiration'. Uses data and constants to calculate potential evapotranspiration (PET) and actual evapotranspiration (AET) from 21 different formulations including Penman, Penman-Monteith FAO 56, Priestley-Taylor and Morton formulations. 2022.

JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M.; SILVA, L. C. R. Expanding the geography of evapotranspiration: An improved method to quantify land-to-air water fluxes in tropical and subtropical regions. **PLOS ONE**, v.12, n.6, 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0180055.

JI, X. B.; CHENC, J. M.; ZHAOA, W. Z.; KANGA, E. S.; JINA, B. W.; XUD, S.Q. Comparison of hourly and daily Penman-Monteith grass- and alfalfa-reference evapotranspiration equations and crop coefficients for maize under arid climatic conditions. Contents lists available at ScienceDirect. **Agricultural Water Management**, p.1-11. 2017. Doi:10.1016/j.agwat.2017.06.019.192.

LACERDA, Z. C.; TURCO, J. E. P. Estimation methods of reference evapotranspiration (ET_o) for Uberlândia-MG. **Revista Engenharia Agrícola**, v.35, n.1, p.27-38. 2015. Doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430>

LANDERAS, G.; ORTIZ-BARREDO, A.; LÓPEZ, J. J. Forecasting weekly evapotranspiration with ARIMA and artificial neural network models. **J. Irrig. Drain. Eng.** v.135, n.3, p.323-334, 2009.

LIU, X.; XU, C.; ZHONG, X.; LI, Y.; YUAN, X.; CAO, J. Comparison of 16 models for reference crop evapotranspiration against weighing lysimeter measurement. **Agricultural Water Management**, n.184, p. 145-155. 2017.

LOPES, I.; LEAL, B. G. Evapotranspiração horária x diária utilizando Penman-Monteith para o polo de desenvolvimento Petrolina-PE/Juazeiro-BA. **Revista Brasileira e Agricultura Irrigada**, v.10, n.5, p. 914-924. 2016.

LUO, Y.; CHANG, X.; PENG, S.; KHAN, S.; WANG, W.; ZHENG, Q.; CAI, X. Short-term forecasting of daily reference evapotranspiration using the Hargreaves-Samani model and temperature forecasts. **Agric Water Manag** v.136, n.3, p.42-51, 2014.

McMAHON, T. A.; PEEL, M. C.; LOWE, L.; SRIKANTHAN, R.; MCVICAR, T. R. Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.17, p. 1331-1363. 2013.

OLIVEIRA, S. R. Ajuste do método Moretti-Jerszurki-Silva para estimar a evapotranspiração de referência diária e horária dos tipos climáticos brasileiros. **Tese (Doutorado)** - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Curitiba. 2018. Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/tese_2018_oliveira_s_r.pdf>. Acesso em 16 de abril de 2023.

PAREDES, P.; PEREIRA, L. S.; ALMOROX, J.; DAROUICH, H. Reference grass evapotranspiration with reduced data sets: Parameterization of the FAO Penman-Monteith temperature approach and the Hargeaves-Samani equation using local climatic variables. **Agricultural Water Management**. 2020.

PAREDES, P.; TRIGO, I.; BRUIN, H. de.; SIMÕES, N.; PEREIRA, L. Daily grass reference evapotranspiration with Meteosat Second Generation shortwave radiation and reference ET products. **Agricultural Water Management**, 2021.

PSILOVIKOS, A.; ELHAG, M. Forecasting of remotely sensed daily evapotranspiration data over Nile Delta region. **Egypt Water Resour Manage**. v.27, n.12, p.4115-4130, 2013.

ROSA, S. L. K. Alternativas para utilização e otimização do método ASCE Penman-Monteith na ausência de dados em quantidade e qualidade. **Tese (Doutorado em Ciência do Solo)**. 151p. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023. Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/tese_2018_oliveira_s_r.pdf>. Acesso em 16 de abril de 2023.

RStudio Team. **RStudio: Integrated Development for R**. RStudio, PBC, Boston, MA. 2023. URL: <<http://www.rstudio.com/>>.

SANTOS, A. A.; SOUZA, J. L. M. Desempenho de módulo automático para estimar séries de evapotranspiração de referência diária e horária. **Anais. CONVIBRA**, p. 1-11. 2020.

SANTOS, A. A.; SOUZA, J. L. M.; ROSA, S. L. K. Hourly and Daily Reference Evapotranspiration with ASCE-PM Model for Paraná State, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**. 2021a. ISSN 1982-4351. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863610009>

SANTOS, A. A.; SOUZA, J. L. M.; ROSA, S. L. K. Evapotranspiration with the Moretti-Jerszurki-Silva model for the Brazilian sub-tropical climate. **Hydrological Sciences Journal**, v.66, n.16, p.1-13, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1988610>

SILVA, D. P. Associação espaço-temporal de variáveis meteorológicas com técnicas de sensoriamento remoto para estimativa da evapotranspiração. Curitiba, 2021. 173p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SILVA, D.; MEZA, F. J.; VARAS, E. Estimating reference evapotranspiration (ET_o) using numerical weather forecast data in central Chile. **J Hydrol.** v.382, n.1-4, p.64-71, 2010.

SOUSA, J. S. C. Procal_ET_o: programa computacional para cálculo da ET_o pelo método de Penman-Monteith. **Irriga, Botucatu**, Edição Especial, p.380-395, 2012.

SOUZA, J. L. M.; JERSZURKI, D.; SCHAFER, R. F.; GURSKI, B. C.; SCHAFER, H. Balanço hídrico climatológico: precipitação e evapotranspiração de referência estimadas com metodologia alternativa. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, n.13, p.284-298, 2017.

SOUZA, J. L. M.; OLIVEIRA, S. R. ROSA, S. L.; JERSZURKI, D. Hourly reference evapotranspiration by Moretti-Jerszurki-Silva method using data from alternative station. **Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering.** v.25, n.8, p.505-513. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n8p505-513>

TEGOS, A.; MALAMOS, N.; EFSTRATIADIS, A.; TSOUKALAS, I.; KARANASIOS, A.; KOUTSOYIANNIS, D. Parametric Modelling of Potential Evapotranspiration: A Global Survey. **Water**, 9 (795), p.1-22, 2017. DOI: 10.3390/w9100795

TIAN, D. I.; MARTINEZ, C. J. Forecasting reference evapotranspiration using retrospective forecast analogs in the southeastern United States. **J Hydrometeorol** v.13, n.6, p.1874-1892, 2012.

TURC, L. Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date. **Annals of Agronomy.** v.12, p.13-49, 1961.

ZAMBRANO-BIGIARINI, M. 2020. **hydroGOF: Goodness-of-fit functions for comparison of simulated and observed hydrological time series.** R package Version 0.3-10. URL:< <https://github.com/hzambran/hydroGOF>>.

3 CAPÍTULO III – CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO MORETTI-JERSZURKI-SILVA PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA DOS CLIMAS BRASILEIROS

3.1 RESUMO

Teve-se por objetivo no presente estudo associar, calibrar parâmetros e analisar o desempenho (validação) do modelo Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*), com as equações linear ou quadrática, para estimar a evapotranspiração de referência na periodicidade horária para os principais climas brasileiros (*Am*, *Af*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cwa*, *Cwb*, *Cfa* e *Cfb*), tendo como padrão o modelo da *American Society of Civil Engineers (ASCE)*. Foram utilizados dados de 91 estações meteorológicas automáticas brasileiras, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os coeficientes, linear (“*a*” e “*b*”) e quadrático (“*a*”, “*b*” e “*c*”), do modelo *MJS* foram calibrados com dados medidos entre 01/01/2017 e 31/12/2018. Na validação, foram utilizados dados medidos entre 01/01/2019 e 31/12/2020. O desempenho do modelo *MJS* foi avaliado em etapas, baseando-se no coeficiente de correlação (*r*), raiz quadrada do erro quadrado médio (*RMSE*) e eficiência de Nash-Sutcliffe (*NSE*). Verificou-se nas análises que: *i*) Os valores de *ET_o* obtidos com os modelos *MJS* linear e quadrático foram iguais estatisticamente, indicando pela simplicidade que o modelo linear é mais recomendado para realizar a estimativa a *ET_{oMJS}* horária. Os coeficientes lineares (“*a*”) médios das estações do ano e período anual ficaram entre $-1,00$ e $0,04 \text{ mm h}^{-1}$, e os coeficiente angulares (“*b*”) entre $-9\text{E}-08$ e $-2\text{E}-08 \text{ mm h}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$; *ii*) As associações entre “*ET_{oASCE.h} vs ET_{oMJS}(ψ_{ar})*La.h*” evidenciaram a necessidade de ajuste do modelo *MJS* quanto à ocorrência de descompasso para todos os climas brasileiros. Com a correção do descompasso do modelo *MJS* (*ET_{oMJS}(ψ_{ar})*La.h*) as associações “*ET_{oASCE.h} vs ET_{oMJS}(ψ_{ar})*La.h*” tiveram melhoria em todos os indicadores estatísticos considerados; *iii*) Em média, há descompasso da *ET_{oMJS}* de uma hora para os climas *Am* e *Af* e duas horas para os climas *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* e *Cwb*. O descompasso tem como motivo diferenças na magnitude dos valores das variáveis de entrada no modelo *MJS* (*T_{méd}* e *UR_{méd}*) e *ASCE* (*T_{méd}*, *R_n*, Δe e *u₂*); *iv*) A magnitude das medidas de tendência central da *ET_o* horária ao longo do dia dependem do tipo climático. Em média, maiores valores de *ET_o* ocorrem entre 15:00 e 17:00 horas nos climas *Cfa* e *Cfb*, e entre as 14:00 e 16:00 horas nos climas *Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cwa* e *Cwb*. Em média, a *ET_{oMJS}(ψ_{ar})*La.h* subestimou 0,19% da *ET_{oASCE.h}* entre 14:00 e 20:00 horas (GMT) e subestimou em 0,05% entre 21:00 e 13:00 horas (GMT).****

Palavras-chave: Ciclo hidrológico. Relações hídricas. Modelo matemático. Potencial hídrico atmosférico.

3.2 ABSTRACT

The objective of this study was to associate, calibrate parameters and analyze the performance (validation) of the Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*) model, with linear or quadratic equations, to estimate the reference evapotranspiration in the hourly periodicity for the main Brazilian climates (*Am*, *Af*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cwa*, *Cwb*, *Cfa* and *Cfb*), using the model of the American Society of Civil Engineers (*ASCE*) as a standard. Data from 91 Brazilian automatic meteorological stations from the National Institute of Meteorology (INMET) were used. The linear (“*a*” and “*b*”) and quadratic (“*a*”, “*b*” and “*c*”) coefficients of the *MJS* model were calibrated with data measured between January 1, 2017, and December 31, 2018. Data measured between January 1, 2019, and December 31, 2020 were used in the validation. The performance of the *MJS* model was evaluated in stages, based on the correlation coefficient (*r*), square root mean square error (*RMSE*), and Nash-Sutcliffe efficiency (*NSE*). It was verified in the analysis that: *i*) The *ET_o* values obtained with the linear and quadratic *MJS* models were statistically equal, indicating due to its simplicity that the linear model is more recommended for estimating the hourly *ET_{oMJS}*. The average linear coefficients (“*a*”) of the seasons and annual period were between -1.00 and 0.04 mm h^{-1} , and the angular coefficients (“*b*”) between $-9\text{E}-08$ and $-2\text{E}-08 \text{ mm h}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$; *ii*) The associations between “*ET_{oASCE.h} vs ET_{oMJS}(Ψ_{ar})*L.h*” highlighted the need to adjust the *MJS* model regarding the occurrence of delay for all Brazilian climates. With the correction of the delay in the *MJS* model (*ET_{oMJS}(Ψ_{ar})*L.a.h**) the associations “*ET_{oASCE.h} vs ET_{oMJS}(Ψ_{ar})*L.a.h*” improved in all statistical indicators considered; *iii*) On average, there is a difference in *ET_{oMJS}* of one hour for the climates *Am* and *Af* and two hours for the climates *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* and *Cwb*. The delay is caused by differences in the magnitude of the values of the input variables in the *MJS* model (*T_{méd}* and *UR_{méd}*) and *ASCE* (*T_{méd}*, *R_n*, Δe and *u₂*); *iv*) The magnitude of the central tendency measures of hourly *ET_{oh}* throughout the day depend on the weather type. On average, the highest *ET_{oh}* values occur between 3:00 pm and 5:00 pm in climates *Cfa* and *Cfb*, and between 2:00 pm and 4:00 pm in climates *Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cwa*, and *Cwb*. On average, *ET_{oMJS}(Ψ_{ar})*L.a.h** underestimated *ET_{oASCE.h}* by 0.19% between 14:00 and 20:00 hours (GMT) and underestimated by 0.05% between 21:00 and 13:00 hours (GMT).**

Keywords: Hydrological cycle. Hydric relations. Mathematical model. Atmospheric hydric potential.

3.3 INTRODUÇÃO

A evapotranspiração (ET) compreende a evaporação da água do solo e transpiração das plantas, sendo controlada por variáveis internas (aspectos fenológicos da planta: altura, área foliar, presença de tricomas, velocidade de abertura e fechamento estomático, entre outros) e externas (componentes meteorológicas: saldo de radiação, R_n ; radiação solar incidente, R_s ; umidade relativa do ar, UR ; velocidade do vento, u_2 ; temperatura do ar, T ; entre outros) (Lopes e Leal, 2016; Ji et al., 2017; Santos et al., 2021a). A ET é uma componente hidrológica importante para o planejamento dos recursos hídricos e do solo, principalmente para o controle das entradas e saídas de água nos sistemas de cultivos (Paredes et al., 2020; Paredes et al., 2021).

O conceito de evapotranspiração de referência (ET_o) foi idealizado como sendo a perda de água, ocorrendo unicamente em detrimento das interações internas e externas, por uma cultura hipotética de referência como a grama (0,12 m de altura) ou alfafa (0,50 m de altura), assumindo-se perfeito desenvolvimento vegetativo e condições ideais de suprimento de água (Allen, 1998; ASCE-EWRI, 2005). Como trata-se de cultura hipotética em que há pleno conhecimento das variáveis internas, torna-se possível analisar as mudanças da ET_o mediante a influência das variáveis externas (Jerszurki et al., 2017; Souza et al., 2021; Santos et al., 2021a).

O intervalo de tempo considerado para o cálculo da ET_o varia conforme o objetivo do estudo, sendo comum estimativas em intervalos mensais, diários e horários. Estimativas da ET_o na periodicidade horária são mais precisas e indicadas em áreas que apresentam grandes mudanças na velocidade do vento, nebulosidade ou temperatura do ponto de orvalho ao longo das 24 horas do dia (Santos et al., 2021b).

Após a publicação do Boletim 56 da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO; Allen et al., 1998), o método Penman-Monteith FAO (PM -FAO) tornou-se padrão para determinar a ET_o . O PM -FAO consiste no aperfeiçoamento da equação proposta inicialmente por Penman (1948), sendo seu bom desempenho comprovado em estudos realizados em várias regiões do mundo, inclusive no Brasil (Ventura et al., 1999; Lecina et al., 2003; Berengena e Gavilán, 2005; Allen et al., 2006; López-Urrea et al., 2006; Gavilán et al., 2007; Trajkovic, 2009).

Buscando melhorar o desempenho, a *American Society of Civil Engineers* (ASCE; ASCE-EWRI, 2005) apresentou uma variação do modelo *PM-FAO*, proporcionando estimativas *ET_o* em periodicidade diária e horária, conforme os tipos de superfícies de referência, sendo: cultura agrícola de porte baixo (grama cortada; 0,12m); e, cultura agrícola mais alta e áspera (alfafa 0,50m). As culturas são identificadas no modelo conforme os valores das constantes relacionadas à superfície de referência (*C_n* e *C_d*), tendo-se valores de *C_d* em análise horária para período diurno e noturno (Gavilán et al., 2007; Carvalho et al., 2011; Alencar et al., 2015; Lacerda e Turco, 2015).

A utilização de modelos alternativos de estimativa da *ET_o* geralmente é a melhor opção quando às variáveis de entrada do modelo *ASCE* padrão (*T*, *u₂*, *R_n* e déficit de saturação Δe) não estão disponíveis em quantidade e/ou qualidade. A literatura é riquíssima em modelos dos mais diferentes tipos para realizar a estimativa da *ET_o* (Santos et al., 2021b). Contudo, mais recentemente, o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*; Jerszurki et al., 2017; Souza et al., 2021; Santos et al., 2021a; Santos et al., 2021b) vem apresentando resultados interessantes em algumas análises, inclusive para ser calibrado para estimar a *ET_o* horária (Souza et al., 2021; Santos et al., 2021a; Santos et al., 2021b).

A literatura considera que a periodicidade horária possibilita estimativas mais precisas da *ET_o*, mas alguns estudos indicam que ajustes e testes precisam ser realizados (Treder e Klamkowski, 2017; Nolz e Rodný, 2019; Santos et al., 2020a; Souza et al., 2021; Santos et al., 2021b). O modelo *MJS* possibilita a realização de estimativas diárias e horárias de *ET_o* considerando apenas o potencial hídrico atmosférico (Ψ_{ar}) como variável de entrada, ou o Ψ_{ar} e a radiação solar no topo da atmosfera (*R_a*). Contudo, os cálculos da *R_a* horária para o período noturno apresentam dificuldades. O período noturno não apresenta radiação solar, comprometendo análises que consideram todas as horas do dia, visto que após o pôr do sol ainda há ocorrência de *ET_o* (Santos et al. 2021b).

Oliveira (2018), utilizando o modelo *MJS* na periodicidade horária, calibrou os coeficientes lineares e quadráticos para os tipos climáticos brasileiros. No entanto, a autora utilizou apenas o período diurno para realização da calibração. Considera-se que a obtenção dos coeficientes para as 24 horas do dia seria mais interessante, pois

permitiria contemplar também a evapotranspiração de referência (ET_o) ocorrida no período noturno. Aliado a esse interesse, Santos et al. (2021b) relataram a presença de descompasso de aproximadamente duas horas entre os valores de ET_o horária obtidos com os modelos *MJS* e *ASCE* padrão para os climas *Cfa* e *Cfb* considerados no estudo. Conforme os autores, para melhor precisão das estimativas, também seria importante verificar o descompasso do modelo alternativo *MJS* para os demais tipos climáticos brasileiros.

Diante do contexto apresentado, teve-se por objetivo no presente estudo associar, calibrar parâmetros e analisar o desempenho (validação) do modelo Moretti-Jerszurki-Silva, com as funções linear e quadrática, para estimar a evapotranspiração de referência na periodicidade horária para os climas brasileiros (*Am*, *Af*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cwa*, *Cwb*, *Cfa* e *Cfb*), tendo como padrão o modelo da *American Society of Civil Engineers* (*ASCE*).

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

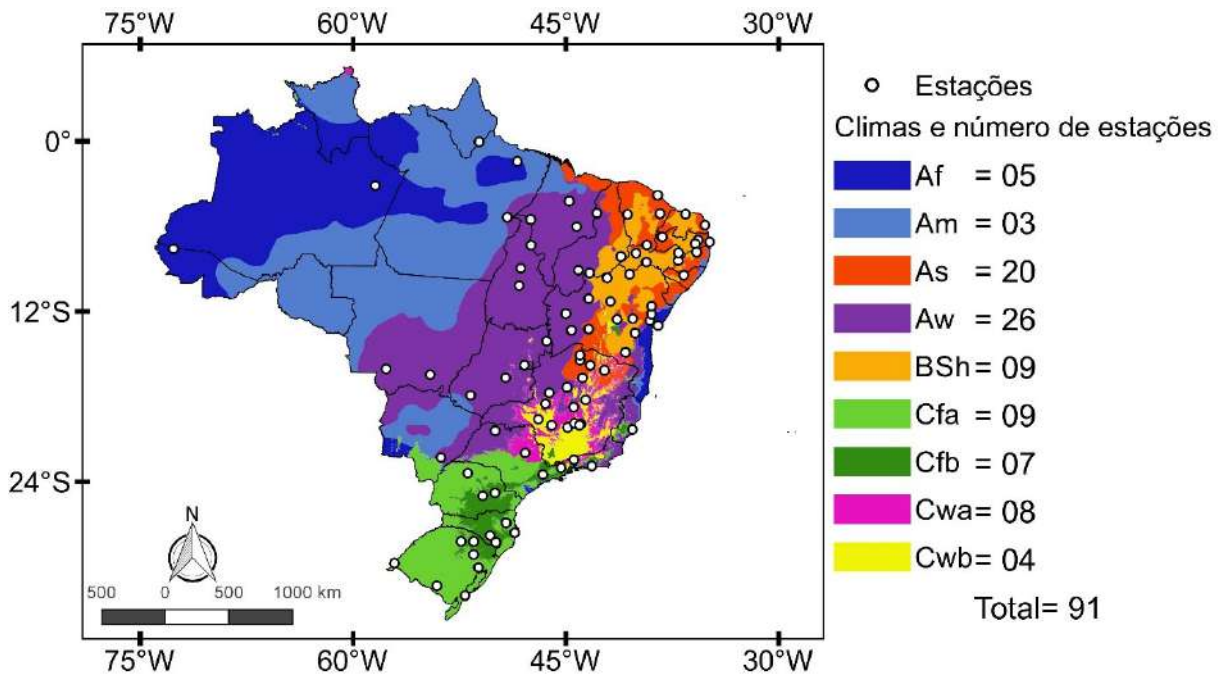
3.4.1 Locais de realização do estudo e seleção das estações meteorológicas

A calibração e validação do modelo Moretti-Jerszurki-Silva para a periodicidade horária foram realizadas para nove tipos climáticos brasileiros, conforme classificação de Köppen (1936) (FIGURA 3.1). Os dados climáticos horários são de 168 estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que foram selecionadas conforme os Critérios: I) “Apresentar falhas inferiores a 25% do total de dados horários da série, para cada variável climática”; II) “Não apresentar falha integral de todos os dados medidos em uma das estações do ano”; III) “Não apresentar falha integral de todos os dados medidos nas 24 horas do dia; e, IV) “Não apresentar *outlier*”. Os critérios foram estabelecidos baseando-se em: Santos et al. (2021b), que consideraram vários aspectos sobre a importância de critérios de escolha das estações meteorológicas, para que o banco de dados utilizado seja representativo do ambiente, para o estudo da evapotranspiração horária; e Valladares Neto (2017), que ressaltou a qualidade da análise de dados em *boxplot* para detecção de *outliers*.

Os Critérios I, II e III foram verificados nas séries de dados climáticos com funções e análise gráfica no Excel 2010. O Critério IV foi verificado com o software R, utilizando a interface RStudio (RStudio Team, 2021; versão 4.1.2), pacote “ggplot2”

(Wickham et al., 2022) e a função “*boxplot*” (APÊNDICE 1: TABELA A1.2). Após a verificação dos Critérios I a IV, 91 estações foram selecionadas, das 168 estações levantadas (APÊNDICE 1: FIGURAS A1.2 a A1.19).

FIGURA 3.1 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS 91 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS DO INMET ANALISADAS, E QUANTIFICAÇÃO DESTAS ESTAÇÕES CONFORME OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS IDENTIFICADOS COM A CLASSIFICAÇÃO DE KÖPPEN (1936).



Fonte: O autor (2024).

3.4.2 Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)

a) Modelo *ASCE-PM*

A estimativa da ET_o horária foi realizada com a equação padronizada de Penman-Monteith, apresentada pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE-EWRI, 2005), utilizando cultura de porte baixo, com 12 cm (APÊNDICE 3):

$$ET_{oASCE.h} = \frac{(0,408 \cdot \Delta_h \cdot (Rn_h - G_h) + \gamma \cdot \frac{c_n}{(T_h + 273)} \cdot u_{2.h} \cdot (es_h - ea_h))}{\Delta_h + \gamma \cdot (1 + Cd \cdot u_{2.h})} \quad (3.1)$$

Sendo: $ET_{oASCE.h}$ – Evapotranspiração de referência da h -ésima hora (mm h^{-1}); Δ_h – declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar da h -ésima hora ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); 0,408 – coeficiente da equação ($\text{m}^2 \text{ mm MJ}^{-1}$); Rn_h – saldo de

radiação ou radiação líquida na superfície da h -ésima hora ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); G_h – balanço do fluxo de calor no solo da h -ésima hora ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); γ – constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); Cn – constante relacionada ao tipo de vegetação e escala de tempo considerada ($Cn_{\text{horário}} = 37 \text{ K mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para cobertura do solo com grama curta); T_h – temperatura média do ar da h -ésima hora ($^\circ\text{C}$); $u_{2,h}$ – velocidade do vento a dois metros de altura da h -ésima hora (m s^{-1}); es_h – pressão de saturação de vapor da h -ésima hora (kPa); ea_h – pressão atual do vapor da h -ésima hora (kPa); Cd – constante relacionada ao tipo de vegetação e escala de tempo considerada ($Cd_{\text{diurno}} = 0,24 \text{ s m}^{-1}$ para período diurno e grama curta, ou $Cd_{\text{noturno}} = 0,96 \text{ s m}^{-1}$ para período noturno e grama curta).

b) Modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS)

Utilizou-se o modelo *MJS* que considera apenas o potencial hídrico atmosférico do ar (Ψ_{ar}) como entrada, sendo ajustado para as funções linear ($ETo_{MJS(\Psi_{ar})L,h}$; Equação 3.2) e quadrática ($ETo_{MJS(\Psi_{ar})Q,h}$; Equação 3.3):

$$ETo_{MJS(\Psi_{ar})L,h} = a + b \cdot \Psi_{ar,h} \quad (3.2)$$

$$ETo_{MJS(\Psi_{ar})Q,h} = a \cdot \Psi_{ar,h}^2 + b \cdot \Psi_{ar,h} + c \quad (3.3)$$

$$\Psi_{ar,h} = \frac{R \cdot T_h}{M_v} \cdot \ln\left(\frac{ea_h}{es_h}\right) \quad (3.4)$$

Sendo: $ETo_{MJS(\Psi_{ar})L,h}$ e $ETo_{MJS(\Psi_{ar})Q,h}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo *MJS*, ajustados às funções linear e quadrática, respectivamente, considerando o potencial hídrico atmosférico da h -ésima hora (mm h^{-1}); $\Psi_{ar,h}$ – potencial hídrico atmosférico da h -ésima hora (MPa); “ a ”, “ b ” e “ c ” – coeficientes obtidos nas análises de regressão da associação “ $\Psi_{ar,h}$ vs $ETo_{ASCE,h}$ ” do processo de calibração, na periodicidade horária (Equação 3.2: coeficientes “ a ” em mm h^{-1} e “ b ” em $\text{mm h}^{-1} \text{MPa}^{-1}$; Equação 3.3: coeficientes “ a ” em $\text{mm h}^{-1} \text{MPa}^{-2}$; “ b ” em $\text{mm h}^{-1} \text{MPa}^{-1}$; e “ c ” em mm h^{-1}); R – Constante universal dos gases perfeitos ($8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$); T_h – temperatura média do ar da h -ésima hora (K); M_v – Massa molar da água ($18 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{mol}^{-1}$); ea_h – pressão atual de vapor da h -ésima hora (MPa); es_h – pressão de saturação de vapor da h -ésima hora (MPa). As variáveis ea_h e es_h foram

estimadas conforme *American Society of Civil Engineers* (ASCE-EWRI, 2005; APÊNDICES 1 e 3, respectivamente).

As análises com os modelos *MJS* foram realizadas em duas etapas:

- i) Primeira etapa: Conforme Jerszurki et al. (2017) e Souza et al. (2021), consistiu no cálculo das séries de valores de $\Psi_{ar,h}$ (Equação 3.3) e $ETo_{ASCE,h}$ (Equação 3.1). Em seguida realizou-se a calibração por meio de análises de regressão linear e quadrática entre “ $\Psi_{ar,h}$ vs $ETo_{ASCE,h}$ ”, obtendo-se os coeficientes “ a ” e “ b ” da função linear e “ a ”, “ b ” e “ c ” da função quadrática, para serem utilizados nas Equações 3.2 e 3.3, respectivamente. A calibração foi realizada para as 91 estações meteorológicas brasileiras analisadas, considerando dados climáticos entre 01/01/2017 e 31/12/2019;
- ii) Segunda etapa: Consistiu em analisar o desempenho dos modelos *MJS* que estimam a *ETo* com as funções linear ($ETo_{MJS(\Psi_{ar})L,h}$; Equação 3.2) e quadrática ($ETo_{MJS(\Psi_{ar})Q,h}$; Equação 3.3), em associações “ $ETo_{MJS(\Psi_{ar})L,h}$ vs $ETo_{ASCE,h}$ ” e “ $ETo_{MJS(\Psi_{ar})Q,h}$ vs $ETo_{ASCE,h}$ ”, respectivamente. As análises de validação das 91 estações meteorológicas brasileiras foram realizadas considerando os dados climáticos entre 01/01/2019 e 31/12/2020.

A seleção dos modelos *MJS* de melhor ajuste (quadrático ou linear) foi realizada após a calibração para a obtenção de seus coeficientes. Por ser mais complexo, optou-se por selecionar o modelo quadrático somente quando o coeficiente de correlação ($r_{quadrática}$) da associação “ $ETo_{MJS(\Psi_{ar})Q,h}$ vs ETo_{ASCE} ” for superior a 5% do r_{linear} da associação “ $ETo_{MJS(\Psi_{ar})L,h}$ vs ETo_{ASCE} ”. Em seguida, os coeficientes do modelo *MJS* selecionados foram interpolados espacialmente para o Brasil, considerando o método do inverso da distância ponderada (IDW). Tegos et al. (2017) considera o IDW como melhor alternativa de interpolação para os modelos de estimativa *ETo* que exigem calibração, permitindo que os coeficientes sejam extrapolados espacialmente para regiões remotas.

3.4.3 Módulo e dados meteorológicos para as estimativas da *ETo* horária

As $ETo_{MJS(\Psi_{ar})L,h}$ e $ETo_{MJS(\Psi_{ar})Q,h}$ foram calculadas em planilha eletrônica, com o módulo desenvolvido especialmente para essa finalidade, denominado “Ajustes do modelo Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*) para a estimativa da evapotranspiração de

referência (ET_o) horária” ($Módulo_{MJS-A}$), o qual encontra-se descrito no Capítulo II (Item 2.5.1).

Para a estimativa da ET_o horária com o modelo $ASCE$ ($ET_{oASCE.h}$) foram necessários dados climáticos horários como: temperaturas máxima e mínima do ar (T ; °C); umidade relativa máxima e mínima do ar (UR ; %); radiação solar incidente (Rs ; MJ m⁻²); e, velocidade do vento conforme altura de medição (u_z ; m s⁻¹), sendo transformado para 2 m de altura (u_2 ; m s⁻¹) (APÊNDICE 3). As séries de dados climáticos de quatro anos das 91 estações analisadas totalizaram 19.552.320 dados horários (T_{min} , T_{max} , UR_{min} , UR_{max} , Rs e u_z) de entrada. As análises para verificação das medidas de tendência central e qualidade dos dados climáticos estão dispostas no APÊNDICE 1 (TABELA A1.2). Os valores das variáveis consideraram o horário do meridiano de Greenwich (GMT), na qual são acrescidas três horas no Horário Universal Coordenado (UTC). Esse procedimento foi realizado, pois nem sempre os estudos utilizam a mesma unidade temporal. Assim, o ajuste foi necessário para possibilitar comparações das médias da ET_o e/ou variáveis meteorológicas observadas no presente estudo, com as apresentadas em trabalhos de outros autores.

A análise das medidas de tendência central foi realizada para cada clima (Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa e Cwb), considerando o período entre 01/01/2017 e 31/12/2020. A análise permitiu identificar os maiores e menores valores ao longo das 24 horas do dia e das estações do ano (primavera, verão, outono e inverno), das séries de valores das variáveis (UR_{med} , T_{med} , Rs e u_2), das 91 estações meteorológicas.

3.4.4 Análise estatística para validação dos modelos

As análises estatísticas da validação consistiram na associação linear entre os valores de “ $ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oMJS}(\Psi_{ar})_{L.h}$ ” e “ $ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oMJS}(\Psi_{ar})_{La.h}$ ”. A verificação do desempenho do modelo testado baseou-se na raiz quadrada do erro quadrado médio ($RMSE$), coeficiente de correlação (r) e eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) (Tegos et al., 2017; Paredes et al., 2020; Paredes et al., 2021; Santos et al., 2021b; Souza et al., 2021). Os cálculos foram realizados com o pacote “*hydroGOF*”, versão 0.04 (Zambrano-Bigiarini, 2020) e sua função “*GOF*”, no software R (RStudio Team, 2023; versão 4.3.2):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (ETo_{p_i} - ETo_{a_i})^2}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(ETo_{p_i} - \overline{ETo_p}) \cdot (ETo_{a_i} - \overline{ETo_a})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (ETo_{p_i} - \overline{ETo_p})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (ETo_{a_i} - \overline{ETo_a})^2}}$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (ETo_{p_i} - ETo_{a_i})^2}{\sum_{i=1}^n (ETo_{p_i} - \overline{ETo_p})^2}$$

Sendo: $RMSE$ – Raiz quadrada do erro quadrático médio (mm h^{-1}); r – coeficiente de correlação de Pearson (adimensional); NSE – eficiência de Nash-Sutcliffe (adimensional); n – número de horas analisadas (adimensional); ETo_{p_i} – evapotranspiração de referência estimada com o método *ASCE-PM* padrão na i -ésima hora (mm h^{-1}); ETo_{a_i} – evapotranspiração de referência estimada com o modelo alternativo Moretti-Jerszurki-Silva na i -ésima hora (mm h^{-1}); $\overline{ETo_p}$ – média da evapotranspiração de referência estimada com o método *ASCE-PM* padrão (mm h^{-1}); $\overline{ETo_a}$ – média da evapotranspiração de referência estimada com o modelo alternativo Moretti-Jerszurki-Silva (mm h^{-1}).

3.4.5 Ajuste do descompasso do modelo *MJS* na periodicidade horária

Após as análises de calibração e validação, verificou-se a existência de descompasso entre as ETo horárias estimadas com os modelos Moretti-Jerszurki-Silva ($ETo_{MJS(\Psi_{ar})L.h}$ e $ETo_{MJS(\Psi_{ar})Q.h}$) e *ASCE-PM* ($ETo_{ASCE.h}$). Santos et al. (2021b) verificaram a ocorrência do descompasso da $ETo_{MJS(\Psi_{ar})L.h}$ em cenário restrito, realizado apenas para os tipos climáticos *Cfa* e *Cfb*. No presente trabalho, para maior abrangência, a ocorrência do descompasso foi analisada para todos os tipos climáticos brasileiros (*Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* e *Cwb*).

A proposta de ajuste do modelo Moretti-Jerszurki-Silva quanto ao descompasso consistiu em calcular as $ETo_{MJS(\Psi_{ar})La.h}$ ou $ETo_{MJS(\Psi_{ar})Qa.h}$, tendo como entrada a variável meteorológica do horário “ $h \pm d$ ”, sendo “ h ” a hora e “ d ” o descompasso:

$$ETo_{MJS(\psi_{ar})La.h} = a + b \cdot \psi_{ar(h \pm d)}$$

$$ETo_{MJS(\psi_{ar})Qa.h} = a \cdot \psi_{ar(h \pm d)}^2 + b \cdot \psi_{ar(h \pm d)} + c$$

$$\psi_{ar(h \pm d)} = \frac{R \cdot T_{(h \pm d)}}{M_v} \cdot \ln \left(\frac{ea_{(h \pm d)}}{es_{(h \pm d)}} \right)$$

Sendo: $ETo_{MJS(\psi_{ar})La.h}$ e $ETo_{MJS(\psi_{ar})Qa.h}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo *MJS*, linear ou quadrático, respectivamente, para a h -ésima hora, tendo como entrada o potencial hídrico atmosférico “ $h \pm d$ ”-ésima hora, conforme o descompasso d (mm h⁻¹); $\psi_{ar(h \pm d)}$ – potencial hídrico atmosférico da “ $h \pm d$ ”-ésima hora, conforme o descompasso d (MPa); R – Constante universal dos gases perfeitos (8,314 J mol⁻¹ K⁻¹); $T_{(h \pm d)}$ – temperatura média do ar da “ $h \pm d$ ”-ésima hora, com descompasso d (K); M_v – Massa molar da água (18 . 10⁻⁶ m³ mol⁻¹); $ea_{(h \pm d)}$ – pressão atual de vapor da “ $h \pm d$ ”-ésima hora, com descompasso d (MPa; estimada conforme *American Society of Civil Engineers*; ASCE-EWRI, 2005; APÊNDICE 3); $es_{(h \pm d)}$ – pressão de saturação da “ $h \pm d$ ”-ésima hora, com descompasso d (MPa; estimada conforme *American Society of Civil Engineers*; ASCE-EWRI, 2005; APÊNDICE 3).

O tempo de ajuste do descompasso foi determinado baseando-se no coeficiente de correlação obtido das associações “ $ETo_{MJS(\psi_{ar})La.h}$ vs $ETo_{ASCE.h}$ ” ou “ $ETo_{MJS(\psi_{ar})Qa.h}$ vs $ETo_{ASCE.h}$ ”. A verificação do descompasso horário das 91 estações analisadas foi automatizada, utilizando-se o módulo “Ajustes do modelo Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*) para a estimativa da evapotranspiração de referência (*ETo*) horária” (*Módulo_{MJS-A}*). Após a verificação e quantificação dos descompassos, uma nova validação “ $ETo_{MJS(\psi_{ar})La.h}$ vs $ETo_{ASCE.h}$ ” ou “ $ETo_{MJS(\psi_{ar})Qa.h}$ vs $ETo_{ASCE.h}$ ” foi realizada para verificar se houve melhorias dos indicadores estatísticos.

Verificada a necessidade de ajuste do descompasso, outra análise complementar foi realizada para tentar explicar o motivo do descompasso, bem como identificar as diferenças entre as *ETo* horárias estimadas com os modelos Moretti-Jerszurki-Silva ($ETo_{MJS(\psi_{ar})La.h}$ e $ETo_{MJS(\psi_{ar})Qa.h}$) e *ASCE* ($ETo_{ASCE.h}$). Utilizou-se a análise de sensibilidade global, com os Coeficientes de Regressão Padronizados (SRC). Assim, foram consideradas as variações dos valores de $ETo_{ASCE.h}$ e

$ETo_{MJS(\Psi_{ar})La.h}$ ou $ETo_{MJS(\Psi_{ar})Qa.h}$, em detrimento das variáveis de entrada em cada equação, determinando-se as variáveis com maior sensibilidade para a ETo horária, de forma independente. As análises foram realizadas no *software* R, com a interface RStudio (RStudio Team, 2023; versão 4.3.2), pacote “*sensitivity*” versão 1.27.0 e função “*src*” (Looss et al., 2021).

As diferenças entre a $ETo_{ASCE.h}$ e os valores de $ETo_{MJS(\Psi_{ar})La.h}$ ou $ETo_{MJS(\Psi_{ar})Qa.h}$ foram verificadas considerando o desvio padrão e a variância horária, em que:

$$DP = \sqrt{\frac{\sum (ETo_h - \overline{ETo})^2}{n}}$$

$$V = (DP)^2$$

Sendo: DP – Desvio padrão da ETo horária obtida com os modelos *ASCE-PM* ou *MJS* ajustado (mm h^{-1}); ETo_h – Evapotranspiração de referência obtida com os modelos *ASCE-PM* ($ETo_{ASCE.h}$) ou *MJS* ajustado ($ETo_{MJS(\Psi_{ar})La.h}$ ou $ETo_{MJS(\Psi_{ar})Qa.h}$) na h -ésima hora (mm h^{-1}); $\overline{ETo}$ – Média da evapotranspiração de referência obtida com os modelos *ASCE-PM* ($ETo_{ASCE.h}$; mm h^{-1}) ou *MJS* ajustado ($ETo_{MJS(\Psi_{ar})La.h}$ ou $ETo_{MJS(\Psi_{ar})Qa.h}$; mm h^{-1}); n – número de valores considerados (adimensional); e, V – Variância da evapotranspiração de referência obtida com os modelos *ASCE-PM* ($ETo_{ASCE.h}$; $\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$) ou *MJS* ajustado ($ETo_{MJS(\Psi_{ar})La.h}$ ou $ETo_{MJS(\Psi_{ar})Qa.h}$; $\text{mm}^2 \text{h}^{-1}$).

Após a validação do modelo *MJS* ajustado ($ETo_{MJS(\Psi_{ar})La.h}$ ou $ETo_{MJS(\Psi_{ar})Qa.h}$), realizou-se Análise de Componentes Principais (ACP) baseando-se na matriz de correlação, para verificar a possibilidade de ajuste do descompasso em função da latitude, longitude ou altitude. As Componentes Principais 1 e 2 (PC1 e PC2) resultaram da interação que melhor explica o conjunto de dados para um p-valor que possibilite gerar a matriz de correlação, a qual é utilizada para plotar os vetores correspondentes à cada variável. Verificou-se também a possibilidade de espacialização dos ajustes *MJS*, baseando-se na classificação climática de Köppen (1936), para os nove tipos climáticos brasileiros.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes da realização dos processos de calibração e validação, principalmente quando se trabalha com grande banco de dados, é importante verificar como se encontra a qualidade da série de dados de interesse. Para isso, no presente estudo analisou-se as medidas de tendência central horárias das variáveis utilizadas ($T_{méd}$, $UR_{méd}$, R_s e u_2), sendo as médias comparadas com valores verificados em outros estudos (Santos et al., 2021a; Althoff e Rodrigues, 2022; Rosa, 2023). As médias e gráficos horários das variáveis climáticas, para os nove tipos climáticos brasileiros (Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa e Cwb), podem ser verificados no APÊNDICE 5, em horário GMT (FIGURAS A5.1 a A5.9).

3.5.1 Calibração do modelo Moretti-Jerszurki-Silva

Na calibração dos coeficientes do modelo Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*), com as funções linear e quadrática (TABELA 3.1; APÊNDICE 7: TABELAS A7.1 a A7.9), verificou-se predominantemente diferença inferior a 5% entre os coeficientes de correlação obtidos com as duas funções, para todos os tipos climáticos analisados. Como nas análises de correlação canônicas são adotados níveis de 0,05 e 0,01 para estabelecer similaridades (Oliveira, 2014), optou-se no presente estudo pela escolha do nível de diferença à 5% entre as correlações lineares e quadráticas. Logo, pela simplicidade optou-se por selecionar o modelo *MJS* linear para estimar a *ET_o* horária ($ET_{oMJS(\psi_{ar})L.h}$) dos principais tipos climáticos brasileiros (Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa e Cwb).

Oliveira (2018), quando iniciou os testes de calibração do modelo *MJS* na periodicidade horária, não adotou o mesmo critério utilizado no presente estudo para selecionar a função de melhor ajuste (linear ou quadrática). No trabalho, a autora selecionou a função que apresentou maior correlação nas análises de regressão entre “ $\psi_{ar.h}$ vs $ET_{oASCE.h}$ ” de cada local analisado. Por esse motivo, houve muita variação entre os modelos linear e quadrático obtidos por Oliveira (2018) ao longo das estações do ano e climas, o que se tentou evitar no presente estudo. Para a comparação entre polinômios, NASA (2009) considera que em ajustes iguais estatisticamente é preferível escolher o polinômio de grau menor (coeficientes), por explicar o fenômeno com maior simplicidade. No presente estudo, optou-se por selecionar a função linear

toda vez que a diferença entre as correlações linear e quadrática não fosse significativa (< 5%).

TABELA 3.1 – MÉDIA DOS COEFICIENTES DAS FUNÇÕES LINEAR (a : mm h^{-1} ; E , b : $\text{mm h}^{-1} \text{MPa}^{-1}$) E QUADRÁTICA (a : $\text{mm h}^{-1} \text{MPa}^{-2}$; b : $\text{mm h}^{-1} \text{MPa}^{-1}$; E , c : mm h^{-1}) DO MODELO MORETTI-JERSZURK-SILVA, OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO PARA PERIODICIDADE HORÁRIA, DA ASSOCIAÇÃO ENTRE “ $\Psi_{ar,h}$ vs $ET_{oASCE,h}$ ”, PARA OS PRINCIPAIS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS.

Climas	Intervalo	----- Modelo linear -----			----- Modelo quadrático -----				Dif. ⁽²⁾	Selecionado
		a	b	$r^{(1)}$	a	b	c	$r^{(1)}$		
Af	Período anual	-5,32E-02	-7,03E-08	0,79	-1,62E-15	-8,78E-08	-7,19E-02	0,81	0,02	Linear
	Primavera	-7,42E-02	-7,53E-08	0,82	-9,74E-16	-8,63E-08	-8,45E-02	0,83	0,01	Linear
	Verão	-9,31E-02	-8,13E-08	0,85	-1,23E-15	-8,74E-08	-9,00E-02	0,85	0,00	Linear
	Outono	-5,67E-02	-8,18E-08	0,78	-6,47E-16	-8,83E-08	-5,32E-02	0,80	0,02	Linear
	Inverno	-5,76E-02	-7,13E-08	0,78	8,17E-16	-6,98E-08	-5,22E-02	0,79	0,01	Linear
Am	Período anual	-5,92E-02	-6,67E-08	0,82	-4,73E-16	-7,42E-08	-7,49E-02	0,83	0,01	Linear
	Primavera	-9,82E-02	-7,08E-08	0,85	1,07E-15	-6,12E-08	-7,72E-02	0,86	0,01	Linear
	Verão	-6,85E-02	-7,00E-08	0,82	-6,85E-16	-7,88E-08	-8,49E-02	0,83	0,01	Linear
	Outono	-5,01E-02	-6,86E-08	0,81	-9,80E-16	-8,14E-08	-7,81E-02	0,81	0,00	Linear
	Inverno	-7,69E-02	-7,14E-08	0,83	-3,11E-16	-7,67E-08	-8,87E-02	0,83	0,00	Linear
As	Período anual	-3,04E-03	-4,45E-08	0,70	1,30E-16	-5,60E-08	-4,85E-02	0,72	0,02	Linear
	Primavera	-2,76E-02	-4,81E-08	0,72	4,99E-16	-5,48E-08	-6,48E-02	0,73	0,02	Linear
	Verão	-2,10E-02	-4,78E-08	0,71	1,04E-15	-5,28E-08	-5,30E-02	0,74	0,03	Linear
	Outono	-1,57E-02	-5,17E-08	0,72	-4,07E-16	-6,80E-08	-5,46E-02	0,74	0,02	Linear
	Inverno	-1,99E-02	-4,83E-08	0,71	1,41E-16	-5,73E-08	-5,64E-02	0,73	0,02	Linear
Aw	Período anual	2,65E-02	-3,14E-08	0,62	-1,36E-15	-5,69E-08	-4,60E-02	0,65	0,03	Linear
	Primavera	2,87E-02	-3,01E-08	0,58	-7,79E-16	-4,83E-08	-2,55E-02	0,62	0,04	Linear
	Verão	-1,47E-02	-5,62E-08	0,72	-2,19E-15	-8,48E-08	-6,71E-02	0,74	0,02	Linear
	Outono	-1,49E-02	-4,51E-08	0,70	-2,25E-15	-7,34E-08	-6,45E-02	0,72	0,02	Linear
	Inverno	-2,06E-02	-2,98E-08	0,66	-7,83E-16	-4,54E-08	-7,48E-02	0,67	0,01	Linear
BSh	Período anual	1,23E-02	-3,25E-08	0,61	-1,47E-15	-6,17E-08	-6,72E-02	0,63	0,03	Linear
	Primavera	2,02E-02	-3,07E-08	0,58	-1,39E-15	-6,03E-08	-9,27E-02	0,60	0,03	Linear
	Verão	9,07E-03	-3,39E-08	0,59	-1,37E-15	-6,43E-08	-9,56E-02	0,61	0,03	Linear
	Outono	-1,07E-02	-3,91E-08	0,64	-1,79E-15	-6,79E-08	-9,07E-02	0,66	0,02	Linear
	Inverno	-8,83E-03	-3,45E-08	0,64	-1,47E-15	-6,29E-08	-1,10E-01	0,67	0,02	Linear
Cfa	Período anual	-1,33E-02	-5,87E-08	0,74	-1,92E-15	-7,96E-08	-4,22E-02	0,76	0,01	Linear
	Primavera	-5,74E-03	-5,67E-08	0,73	-2,46E-15	-8,72E-08	-5,69E-02	0,75	0,02	Linear
	Verão	-4,14E-02	-6,93E-08	0,76	-2,68E-15	-9,87E-08	-8,76E-02	0,77	0,02	Linear
	Outono	-1,88E-02	-5,91E-08	0,76	-1,56E-15	-7,13E-08	-2,90E-02	0,76	0,00	Linear
	Inverno	-7,79E-03	-5,22E-08	0,73	-2,28E-15	-7,09E-08	-1,99E-02	0,74	0,01	Linear
Cfb	Período anual	2,36E-02	-4,82E-08	0,70	-3,22E-15	-8,56E-08	-2,55E-02	0,73	0,04	Linear
	Primavera	3,37E-02	-4,56E-08	0,69	-3,16E-15	-8,67E-08	-3,05E-02	0,73	0,04	Linear
	Verão	1,14E-02	-6,21E-08	0,75	-5,07E-15	-1,14E-07	-5,73E-02	0,76	0,01	Linear
	Outono	4,12E-03	-5,36E-08	0,72	-3,87E-15	-8,64E-08	-2,96E-02	0,75	0,03	Linear
	Inverno	2,32E-02	-4,17E-08	0,71	-2,18E-15	-6,63E-08	-6,63E-03	0,72	0,01	Linear
Cwa	Período anual	1,66E-02	-3,74E-08	0,68	-1,99E-15	-7,54E-08	-5,07E-02	0,71	0,04	Linear
	Primavera	2,40E-02	-3,62E-08	0,67	-1,96E-15	-6,95E-08	-4,71E-02	0,71	0,04	Linear
	Verão	-8,70E-03	-5,19E-08	0,73	-2,83E-15	-8,85E-08	-7,12E-02	0,76	0,02	Linear
	Outono	-1,46E-02	-4,49E-08	0,71	-2,34E-15	-7,00E-08	-4,78E-02	0,73	0,02	Linear
	Inverno	2,46E-02	-2,95E-08	0,66	-1,38E-15	-5,42E-08	-3,05E-02	0,69	0,03	Linear
Cwb	Período anual	1,21E-02	-4,06E-08	0,66	-1,98E-15	-6,96E-08	-7,00E-02	0,69	0,03	Linear
	Primavera	3,17E-02	-3,52E-08	0,63	-1,57E-15	-5,99E-08	-2,28E-02	0,66	0,02	Linear
	Verão	3,28E-04	-5,14E-08	0,69	-2,30E-15	-8,33E-08	-6,59E-02	0,72	0,03	Linear
	Outono	-1,90E-02	-5,02E-08	0,70	-3,10E-15	-8,46E-08	-8,28E-02	0,72	0,02	Linear
	Inverno	-7,03E-03	-3,77E-08	0,69	-1,64E-15	-6,24E-08	-6,68E-02	0,71	0,02	Linear

⁽¹⁾ r – Coeficiente de correlação (adimensional); ⁽²⁾ Dif. – Diferença entre os valores de r obtidos nas análises de regressão linear e quadrática.

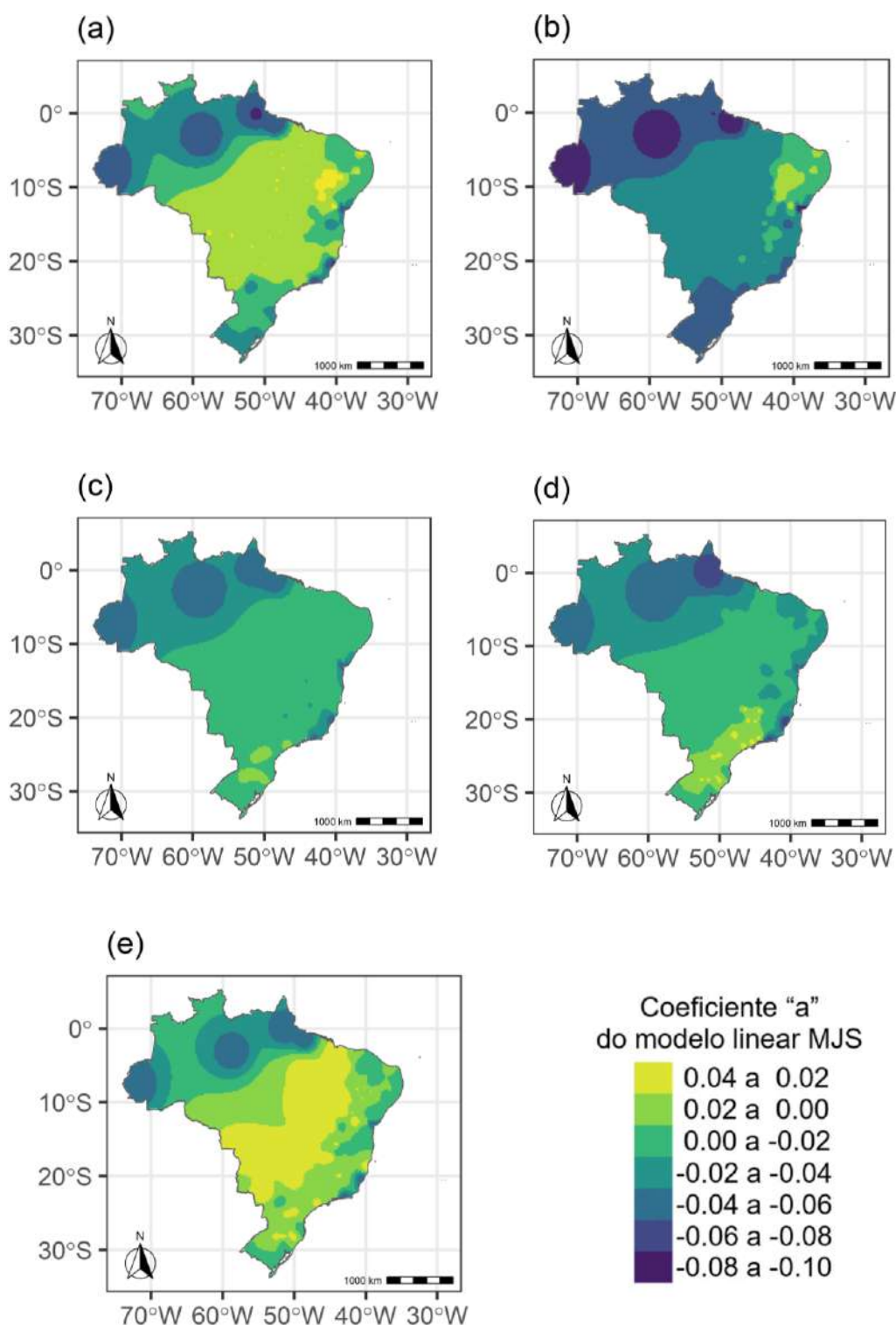
O modelo linear foi selecionado para todos os tipos climáticos analisados (TABELA 3.1). A interpolação dos coeficientes “a” e “b” obtidos na calibração, conforme estações do ano e período analisado (FIGURAS 3.2 e 3.3) evidenciaram variações estacionais dos coeficientes ao longo do ano.

Conforme série de dados utilizada na calibração (entre 01/01/2017 e 31/12/2018), os valores ajustados de “a” ficaram entre $-1,00$ e $0,04 \text{ mm h}^{-1}$. As maiores amplitudes (diferença entre os menores aos maiores valores) ocorreram na Primavera, e as menores no Outono (FIGURA 3.2 “a” e “c”), predominantemente na região Norte do país, havendo também situações similares na região Nordeste.

Os valores calibrados de “b”, considerando as estações do ano e período, ficaram entre $-9\text{E}-08 \text{ mm h}^{-1}$ e $-2\text{E}-08 \text{ MPa}^{-1}$. Predominantemente, os maiores valores de “b” (60%) foram observados na Primavera e Inverno, e os menores (80%) no Verão e Outono (FIGURA 3.3 “a”, “b”, “c” e “d”). Os menores valores ocorreram na região Norte e Sul do país, havendo também valores baixos na região litorânea do Nordeste e Sudeste, na Primavera, Outono, Inverno e Período Anual.

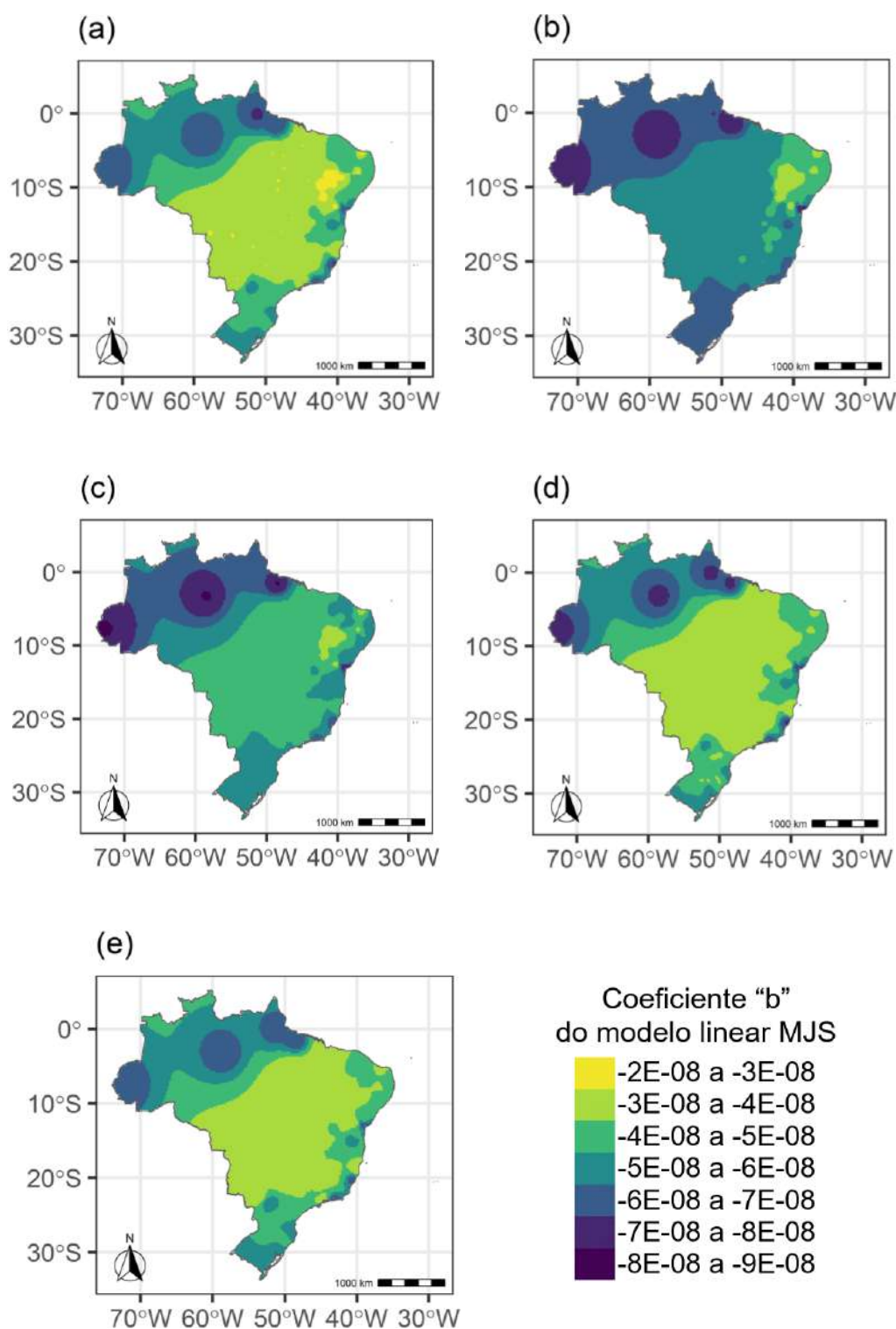
Santos et al. (2021b), calibrando o modelo *MJS* linear na periodicidade horária, em localidades paranaenses (climas *Cfa* e *Cfb*), obtiveram coeficientes “a” e “b” similares aos encontrados no presente estudo, inclusive para a tendências centrais dos coeficientes “a” serem negativos em clima *Cfa* e positivos em *Cfb* (TABELA 3.1). Os autores observaram em Maringá (clima *Cfa*) e Castro (clima *Cfb*) coeficientes de correlação iguais a 0,56 e 0,71, respectivamente, resultados bem semelhantes aos obtidos no presente estudo, sendo $r = 0,57$ em Maringá e $r = 0,71$ em Castro (APÊNDICE 6: TABELAS A6.6 e A6.7).

FIGURA 3.2 – INTERPOLAÇÃO IDW REALIZADA PARA O BRASIL, CONSIDERANDO A MÉDIA DOS COEFICIENTES “a” (mm h^{-1}) CALIBRADOS NAS ANÁLISES DE REGRESSÃO LINEAR, PARA: a) PRIMAVERA; b) VERÃO; c) OUTONO; d) INVERNO; E, e) PERÍODO ANUAL.



Fonte: O autor (2024).

FIGURA 3.3 – INTERPOLAÇÃO IDW REALIZADA PARA O BRASIL, CONSIDERANDO A MÉDIA DOS COEFICIENTES “ b ” ($\text{mm h}^{-1} \text{MPa}^{-1}$) CALIBRADOS NAS ANÁLISES DE REGRESSÃO LINEAR, PARA: a) PRIMAVERA; b) VERÃO; c) OUTONO; d) INVERNO; E, e) PERÍODO ANUAL.



Fonte: O autor (2024).

Pequenas diferenças entre os valores dos coeficientes podem ter ocorrido por motivos variados, como: distribuição espacial das estações meteorológicas, em que a média foi obtida de diferentes localidades; bem como, período utilizado para calibração, pois o presente estudo utilizou dados de dois anos para calibrar, enquanto Santos et al. (2021b) e Oliveira (2018) utilizaram apenas um ano. A utilização de apenas um ano de dados aumenta a possibilidade de falhas no banco de dados, sendo apontado por Santos et al. (2021a) como fator prejudicial nos resultados que obtiveram sobre evapotranspiração de referência horária e diária. Logo, a utilização de periodicidade com médias sem ocorrência de falhas é o mais adequado. Este procedimento foi considerado no presente estudo, e as estações selecionadas não apresentaram falhas horária ou estacional que comprometessem o banco de dados. Metodologicamente, foram excluídas localidades com falhas superiores a 25% (APÊNDICE 1: TABELA A1.2).

3.5.2 Validação da $ET_{oMJS(\psi_{ar})L.h}$

Na TABELA 3.2 encontra-se os valores médios dos indicadores estatísticos, por clima, observados na validação para as associações lineares entre “ $ET_{oMJS(\psi_{ar})L.h}$ vs $ET_{oASCE.h}$ ”, das 91 estações meteorológicas analisadas.

De forma geral (TABELA 3.2), foram verificados bons resultados para as associações “ $ET_{oMJS(\psi_{ar})L.h}$ vs $ET_{oASCE.h}$ ” (APÊNDICE 7) nos períodos estacional e anual, sendo: Anual ($0,58 \leq r \leq 0,88$; $10 \leq RMSE \leq 23 \text{ mm h}^{-1}$ e $-0,81 \leq NSE \leq 0,43$); Primavera ($0,55 \leq r \leq 0,89$; $11 \leq RMSE \leq 25 \text{ mm h}^{-1}$ e $-1,55 \leq NSE \leq 0,40$); Verão ($0,62 \leq r \leq 0,91$; $10 \leq RMSE \leq 22 \text{ mm h}^{-1}$ e $-1,13 \leq NSE \leq 0,70$); Outono ($0,59 \leq r \leq 0,87$; $10 \leq RMSE \leq 22 \text{ mm h}^{-1}$ e $-0,96 \leq NSE \leq 0,43$); e, Inverno ($0,65 \leq r \leq 0,86$; $12 \leq RMSE \leq 21 \text{ mm h}^{-1}$ e $-0,62 \leq NSE \leq 0,5$).

Souza et al. (2021), estudando a ET_o horária com o modelo MJS , consideraram que valores de $RMSE$ superiores a $0,19 \text{ mm h}^{-1}$ trouxeram incertezas aos resultados, e os demais indicadores tendem a piorar. Os maiores $RMSE$ podem estar relacionados com o descompasso existente entre os valores de ET_o estimados com o modelo MJS , frente aos valores de ET_o estimados com o modelo $ASCE$ padrão. No presente estudo, em média, o $RMSE \geq 0,19 \text{ mm h}^{-1}$ ocorreu para a maioria dos climas, excluindo-se Af e Am . O maior (pior valor $RMSE$) encontra-se na Primavera, em clima

BSh ($RMSE = 0,25 \text{ mm h}^{-1}$) e, de forma geral, os melhores resultados ocorreram no Verão ($RMSE < 0,19 \text{ mm h}^{-1}$) (TABELA 3.2).

TABELA 3.2 – INDICADORES ESTATÍSTICOS DAS ASSOCIAÇÕES LINEARES ENTRE OS RESPECTIVOS VALORES DE “ $ETo_{MJS(\psi_{ar})L,h}$ vs $ETo_{ASCE,h}$ ”, PARA OS CLIMAS BRASILEIROS ANALISADOS.

Climas	Intervalo	Modelo	“ $ETo_{MJS(\psi_{ar})L,h}$ vs $ETo_{ASCE,h}$ ”		
			$r^{(1)}$	$RMSE^{(2)}$	$NSE^{(3)}$
<i>Af</i>	Período anual	Linear	0,88	0,10	0,39
	Primavera	Linear	0,89	0,11	0,40
	Verão	Linear	0,91	0,10	0,70
	Outono	Linear	0,87	0,10	0,30
	Inverno	Linear	0,86	0,12	0,15
<i>Am</i>	Período anual	Linear	0,82	0,17	0,43
	Primavera	Linear	0,84	0,14	0,54
	Verão	Linear	0,83	0,13	0,46
	Outono	Linear	0,82	0,17	0,43
	Inverno	Linear	0,82	0,15	0,51
<i>As</i>	Período anual	Linear	0,71	0,18	-0,17
	Primavera	Linear	0,70	0,20	-0,43
	Verão	Linear	0,72	0,18	-0,37
	Outono	Linear	0,71	0,16	-0,35
	Inverno	Linear	0,69	0,21	-0,27
<i>Aw</i>	Período anual	Linear	0,66	0,16	-0,19
	Primavera	Linear	0,60	0,22	-0,84
	Verão	Linear	0,70	0,19	-0,07
	Outono	Linear	0,70	0,17	-0,29
	Inverno	Linear	0,66	0,19	-0,30
<i>BSh</i>	Período anual	Linear	0,64	0,21	-0,81
	Primavera	Linear	0,55	0,25	-1,55
	Verão	Linear	0,62	0,22	-1,13
	Outono	Linear	0,66	0,19	-0,96
	Inverno	Linear	0,68	0,19	-0,62
<i>Cfa</i>	Período anual	Linear	0,72	0,17	0,26
	Primavera	Linear	0,71	0,19	0,07
	Verão	Linear	0,72	0,20	0,26
	Outono	Linear	0,73	0,14	0,24
	Inverno	Linear	0,70	0,14	0,11
<i>Cfb</i>	Período anual	Linear	0,72	0,16	0,13
	Primavera	Linear	0,70	0,18	-0,19
	Verão	Linear	0,73	0,19	0,10
	Outono	Linear	0,71	0,13	0,21
	Inverno	Linear	0,71	0,12	0,01
<i>Cwa</i>	Período anual	Linear	0,69	0,18	0,13
	Primavera	Linear	0,65	0,20	-0,01
	Verão	Linear	0,73	0,18	0,14
	Outono	Linear	0,72	0,15	0,05
	Inverno	Linear	0,68	0,18	-0,01
<i>Cwb</i>	Período anual	Linear	0,58	0,23	-0,54
	Primavera	Linear	0,69	0,20	0,06
	Verão	Linear	0,70	0,16	-0,28
	Outono	Linear	0,59	0,22	-0,20
	Inverno	Linear	0,65	0,20	-0,10

⁽¹⁾ r – Coeficiente de correlação linear (adimensional); ⁽²⁾ $RMSE$ – Raiz quadrada do erro quadrado médio (mm h^{-1}); e, ⁽³⁾ NSE – Eficiência de Nash-Sutcliffe (adimensional).

3.5.3 Ajuste horário do modelo *MJS* e validação da $ETo_{MJS(\psi_{ar})La.h}$ ajustada

Os resultados apresentados no APÊNDICE 7 e TABELA 3.2 foram bons e interessantes, considerando-se as boas correlações “ r ” e baixos *RMSE*. Mas, poderiam melhorar e serem ainda mais promissores, deste que realizados ajustes ou correções. Santos et al. (2021b), analisando respectivos valores horários de “ $ETo_{MJS(\psi_{ar})La.h}$ vs $ETo_{ASCE.h}$ ” para os climas *Cfa* e *Cfb*, do Estado do Paraná, verificaram que a correção do descompasso entre os modelos *MJS* e *ASCE-PM* melhorou substancialmente os indicadores estatísticos. Para os climas *Cfa* e *Cfb*, os autores verificaram descompasso de até duas horas. O descompasso aumenta a distância entre os pontos amostrais e piora os indicadores estatísticos, o que pode ter limitado ou comprometido alguns resultados verificados na TABELA 3.2 (APÊNDICE 7: TABELAS A7.1 a A7.9).

NSE próximos de um indicam que os valores de $ETo_{MJS(\psi_{ar})La.h}$ obtidos alternativamente com o modelo *MJS* apresentaram maior proximidade dos respectivos valores de $ETo_{ASCE.h}$ obtidos com o modelo *ASCE-PM* padrão. Os pontos do diagrama de dispersão ficam mais próximos da reta 1:1 ou de 45 graus. Desta forma, são as interações *NSE* e *RMSE* que indicam se haverá melhor ou pior correlação (r) entre os pontos da dispersão. Baseando-se nesta relação, a verificação das $ETo_{MJS(\psi_{ar})La.h}$ foram realizadas, resultando nas $ETo_{MJS(\psi_{ar})La.h}$ ajustadas, que passaram por nova análise de validação (TABELA 3.3). Todo o procedimento foi realizado com o auxílio do módulo “Ajustes do modelo Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*) para a estimativa da evapotranspiração de referência (*ETo*) horária” (*Módulo_{MJS-A}*), possibilitando a visualização gráfica e seleção do ajuste conforme melhor correlação e proximidade das médias horárias da $ETo_{MJS(\psi_{ar})La.h}$ e $ETo_{ASCE.h}$ (APÊNDICE 7).

Em média, os ajustes foram de uma ou duas horas, conforme tipo climático (APÊNDICE 7: TABELAS A7.1 a A7.9). Com os ajustes, constatou-se melhorias significativas nos parâmetros estatísticos. Antes do ajuste, os *RMSE* foram superiores a $0,19 \text{ mm h}^{-1}$ para a maioria dos climas (*As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa*, *Cwb*) e estações do ano (TABELA 3.2), o que traz incertezas aos resultados (Souza et al., 2021). Após o ajuste os *RMSE* reduziram consideravelmente ($0,19 \leq RMSE \leq 0,6 \text{ mm h}^{-1}$), resultando em melhores correlações ($0,74 \leq r \leq 0,98$) e eficiência *NSE* ($-0,56 \leq NSE \leq 0,88$) (TABELA 3.3).

TABELA 3.3 – INDICADORES ESTATÍSTICOS DAS ASSOCIAÇÕES LINEARES ENTRE OS RESPECTIVOS VALORES DE “ $ET_{oMJS(\psi_{ar})La,h}$ vs $ET_{oASCE,h}$ ”, PARA OS CLIMAS BRASILEIROS ANALISADOS.

Climas	Intervalo	Ajuste (h)	----- “ $ET_{oMJS(\psi_{ar})La,h}$ vs $ET_{oASCE,h}$ ” após o ajuste -----		
			$r^{(1)}$	$RMSE^{(2)}$	$NSE^{(3)}$
<i>Af</i>	Período anual	1	0,98	0,07	0,67
	Primavera	1	0,98	0,07	0,69
	Verão	1	0,98	0,06	0,88
	Outono	1	0,98	0,07	0,61
	Inverno	1	0,98	0,08	0,50
<i>Am</i>	Período anual	1	0,86	0,14	0,54
	Primavera	1	0,85	0,14	0,57
	Verão	1	0,86	0,12	0,54
	Outono	1	0,86	0,14	0,54
	Inverno	1	0,86	0,13	0,60
<i>As</i>	Período anual	2	0,83	0,15	0,19
	Primavera	2	0,82	0,16	0,01
	Verão	2	0,83	0,15	0,00
	Outono	2	0,82	0,14	-0,02
	Inverno	2	0,83	0,14	0,21
<i>Aw</i>	Período anual	2	0,79	0,16	0,16
	Primavera	2	0,74	0,19	-0,36
	Verão	2	0,81	0,16	0,25
	Outono	2	0,83	0,14	0,12
	Inverno	2	0,83	0,16	0,22
<i>BSh</i>	Período anual	2	0,81	0,17	-0,17
	Primavera	2	0,77	0,19	-0,56
	Verão	2	0,79	0,18	-0,40
	Outono	2	0,82	0,16	-0,35
	Inverno	2	0,86	0,15	0,06
<i>Cfa</i>	Período anual	2	0,81	0,14	0,47
	Primavera	2	0,79	0,16	0,30
	Verão	2	0,81	0,17	0,48
	Outono	2	0,84	0,11	0,52
	Inverno	2	0,80	0,12	0,36
<i>Cfb</i>	Período anual	2	0,79	0,13	0,37
	Primavera	2	0,81	0,15	0,11
	Verão	2	0,82	0,15	0,32
	Outono	2	0,82	0,10	0,47
	Inverno	2	0,80	0,10	0,28
<i>Cwa</i>	Período anual	2	0,83	0,14	0,48
	Primavera	2	0,78	0,16	0,34
	Verão	2	0,84	0,15	0,42
	Outono	2	0,89	0,10	0,52
	Inverno	2	0,86	0,16	0,35
<i>Cwb</i>	Período anual	2	0,75	0,19	-0,02
	Primavera	2	0,82	0,15	0,41
	Verão	2	0,84	0,13	0,17
	Outono	2	0,81	0,16	0,40
	Inverno	2	0,81	0,16	0,32

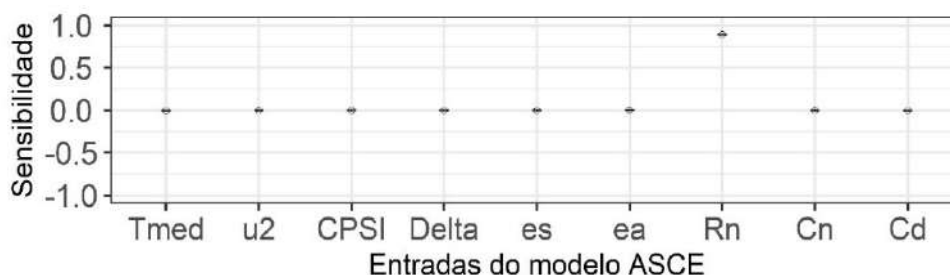
⁽¹⁾ r – Coeficiente de correlação (adimensional); ⁽²⁾ $RMSE$ – Raiz quadrada do erro quadrado médio (mm h⁻¹); e, ⁽³⁾ NSE – Eficiência de Nash-Sutcliffe (adimensional).

3.5.3.1 Motivo para a ocorrência do descompasso

O descompasso do modelo *MJS* deve-se às interações das variáveis climáticas utilizadas. O *MJS* utiliza a umidade relativa (UR) e temperatura (T) para estimar o potencial hídrico (Ψ_{ar} ; Equação 3.3), que é a variável de entrada para calcular a $ET_{oMJS(\Psi_{ar})L.h.}$. O modelo *ASCE-PM* utiliza como entrada a temperatura média (T), o saldo de radiação (Rn), déficit de saturação (Δe) e a velocidade do vento (u_2). A magnitude da ocorrência das variáveis climáticas pode ser verificada de forma geral na FIGURA 3.4, ou individualmente no APÊNDICE 4 (FIGURAS A4.1 a A4.4) e TABELA 3.4.

Apenas para ilustrar o que se verificou de forma geral para todas as estações estudadas, a análise de sensibilidade (FIGURA 3.4) feita para o Cenário de Salvador, considerando as entradas das variáveis climáticas do modelo *ASCE* para estimativa da $ET_{oASCE.h}$ horária, indicou que o Rn apresentou a maior sensibilidade. Logo, especial atenção também tem de ser dada à radiação incidente (Rs), por ser muito utilizada para estimar o Rn , que na maioria das vezes não tem seus valores medidos nas estações automáticas ou convencionais. No presente estudo, com a indisponibilidade de valores de Rn nas estações meteorológicas analisadas, seu valor foi estimado baseando-se no roteiro da *American Society of Civil Engineers* (ASCE-EWRI, 2005), que considera a utilização da Rs , entre outras variáveis climáticas.

FIGURA 3.4 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DAS VARIÁVEIS⁽¹⁾ DE ENTRADA NO MODELO DA AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE-EWRI, 2005), PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA ($ET_{oASCE.h}$), COM DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE SALVADOR



⁽¹⁾ *Tmed* – Temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$); u_2 – Velocidade do vento corrigida para 2 m de altura (m s^{-1}); *CPSI* – constante psicrométrica (γ ; $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); *Delta* – Declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar (Δ ; $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); *es* – pressão de saturação de vapor (kPa h^{-1} ou kPa dia^{-1}); *ea* – pressão atual do vapor (kPa h^{-1} ou kPa dia^{-1}); *Cn* e *Cd* – constantes relacionadas à superfície de referência e intervalo de tempo adotado (para plantas de porte baixo, como a grama: $Cn_h = 37 \text{ K mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para periodicidade horária e $Cn_d = 900 \text{ K mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para periodicidade diária; e, $Cd_{diurno} = 0,24 \text{ s m}^{-1}$ no período diurno, $Cd_{noturno} = 0,96 \text{ s m}^{-1}$ no período noturno e $Cd_{diário} = 0,34 \text{ s m}^{-1}$ no período diário).

Fonte: O autor (2024).

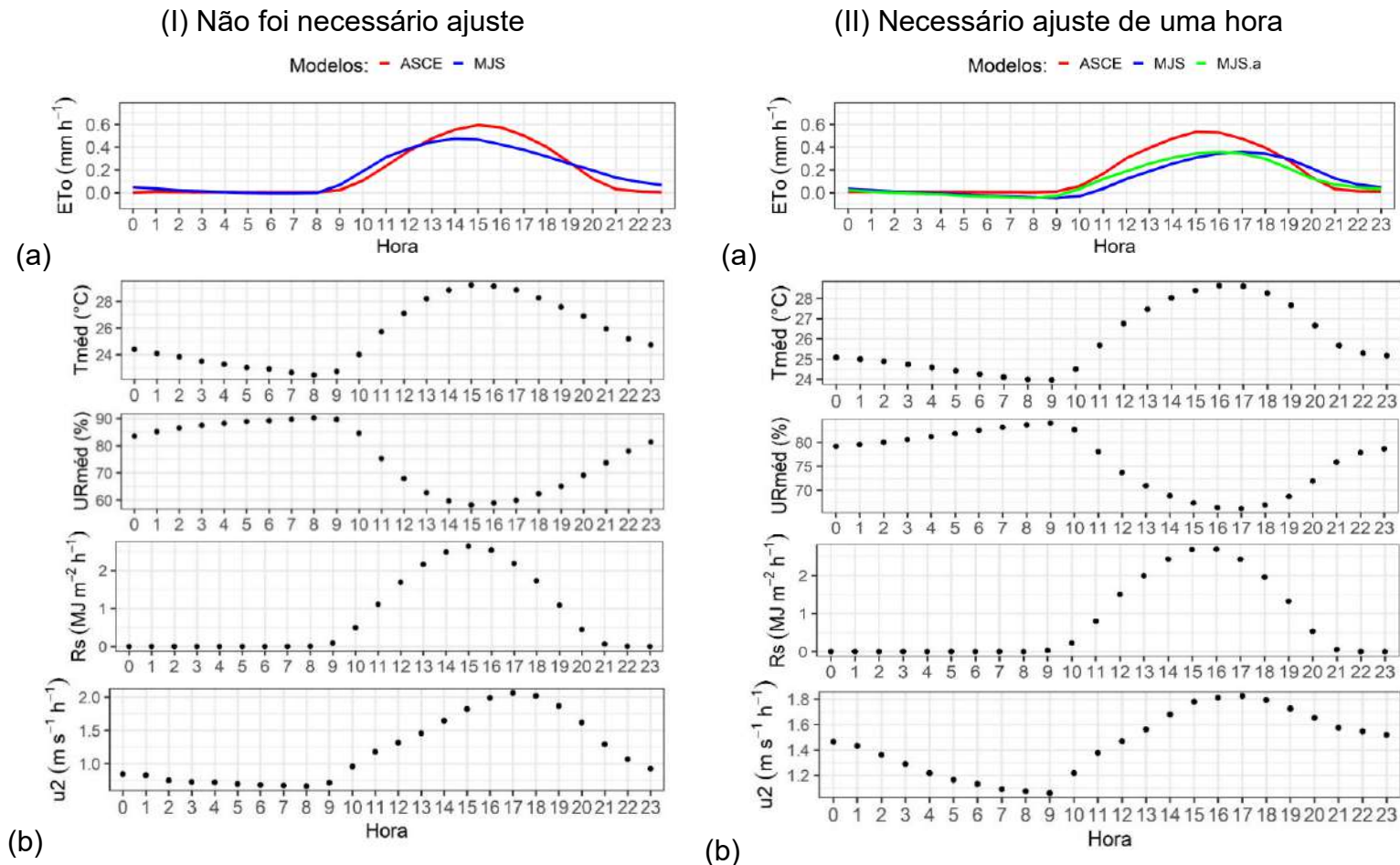
TABELA 3.4 – AJUSTE MÉDIO DO DESCOMPASSO DO MODELO *MJS*, POR CLIMA BRASILEIRO, E RESPECTIVOS INTERVALOS HORÁRIOS (GMT) ENTRE A OCORRÊNCIA DOS MAIORES VALORES PARA AS VARIÁVEIS $T_{méd}$, R_s E u_2 , E MENORES VALORES PARA $UR_{méd}$.

Climas	Ajuste	Variável	Observação	Intervalo horário (h)
<i>Af</i> e <i>Am</i>	1 hora	$T_{méd}$	Maiores valores	17:00 às 18:00
		$UR_{méd}$	Menores valores	17:00 às 18:00
		R_s	Maiores valores	15:00 às 16:00
		u_2	Maiores valores	17:00 às 18:00
<i>As</i> , <i>Aw</i> , <i>BSh</i> , <i>Cfa</i> , <i>Cfb</i> , <i>Cwa</i> e <i>Cwb</i>	2 horas	$T_{méd}$	Maiores valores	17:00 às 18:00
		$UR_{méd}$	Menores valores	17:00 às 18:00
		R_s	Maiores valores	14:00 às 15:00
		u_2	Maiores valores	12:00 às 19:00

No presente estudo, os valores de R_s foram utilizados para estimar o R_n . Logo, indiretamente, os valores de R_s são mais atuantes na magnitude da ET_o horária com o modelo *ASCE* (FIGURA 3.4). Como o modelo *MJS* não considera em suas variáveis de entrada o R_n , mas sim a T e UR , ocorre o descompasso entre as ET_o horárias estimadas com os dois modelos (FIGURA 3.5).

Nos climas *Af* e *Am* as variações de descompasso das variáveis foram menores. Em média, a diferença entre os horários de pico de $T_{méd}$ e menores valores de $UR_{méd}$ foi de apenas uma hora em relação ao horário de pico de R_s , resultando em ajuste de uma hora. Nos demais climas (*As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* e *Cwb*), houve maior diferença horária entre a $T_{méd}$ e $UR_{méd}$ em relação à R_s , sendo necessário ajuste de duas horas (TABELA 3.4; FIGURA 3.6). Os resultados obtidos concordam com os encontrados por Santos et al. (2021b) para os climas *Cfa* e *Cfb* (predominantes do Estado do Paraná), indicando que o descompasso horário do modelo *MJS* em relação ao *ASCE* precisa ser corrigido para todos os tipos climáticos brasileiros.

FIGURA 3.5 – VALORES MÉDIOS UTILIZADOS NA VALIDAÇÃO, POR HORA (GMT), DAS VARIÁVEIS ANALISADAS NAS ESTAÇÕES: I.a) “ $ET_{oASCE.h}$ (ASCE) vs $ET_{oMJS(\varphi_{ar})L.h}$ (MJS)” PARA VITÓRIA DA CONQUISTA, CLIMA Am, EM QUE NÃO FOI NECESSÁRIO AJUSTE DA ET_o HORÁRIA OBTIDA COM O MODELO MORETTI-JERSZURKI-SILVA (MJS); II.a) “ $ET_{oASCE.h}$ (ASCE) vs $ET_{oMJS(\varphi_{ar})L.h}$ (MJS) vs $ET_{oMJS(\varphi_{ar})La.h}$ (MJS.a)” PARA SALVADOR, CLIMA Af, EM QUE FOI NECESSÁRIO AJUSTE DE UMA HORA COM O MODELO MJS. I.b e II.b) MÉDIAS HORÁRIAS DA TEMPERATURA ($T_{méd}$), UMIDADE RELATIVA ($UR_{méd}$), RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s) e VELOCIDADE DO VENTO (u_2), OBSERVADOS EM VITÓRIA DA CONQUISTA E SALVADOR, RESPECTIVAMENTE.



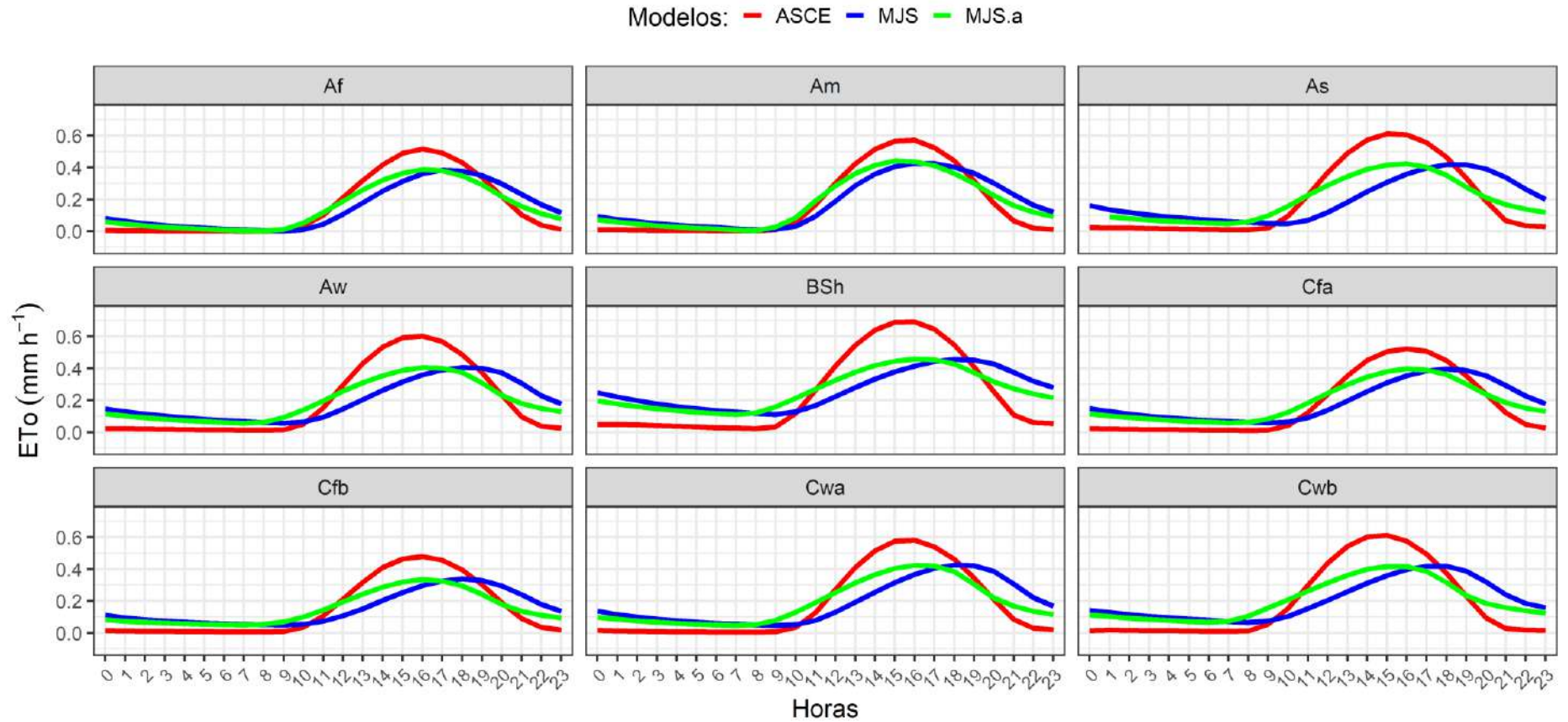
Fonte: O autor (2024).

3.5.3.2 Correção do descompasso do modelo *MJS* em relação ao *ASCE*

A correção do descompasso evidenciou melhoria das estimativas realizadas com o modelo *MJS* ajustado ($ETo_{MJS(\psi_{ar})La.h}$; FIGURA 3.6) em relação ao modelo *ASCE*. Os picos da $ETo_{MJS(\psi_{ar})La.h}$ ocorreram, em média, entre às 15:00 e 17:00 horas GMT, em climas *Cfa* e *Cfb*, e entre às 14:00 e 16:00 horas GMT para os climas *Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cwa* e *Cwb*, correspondendo aos horários de maior necessidade de reposição hídrica (FIGURAS 3.6 e 3.7). Santos (2020) também verificou os mesmos horários para os climas *Cfa* e *Cfb* (12:00 e 14:00 horas UTC, que correspondem às 15:00 e 17:00 horas GMT), no Paraná.

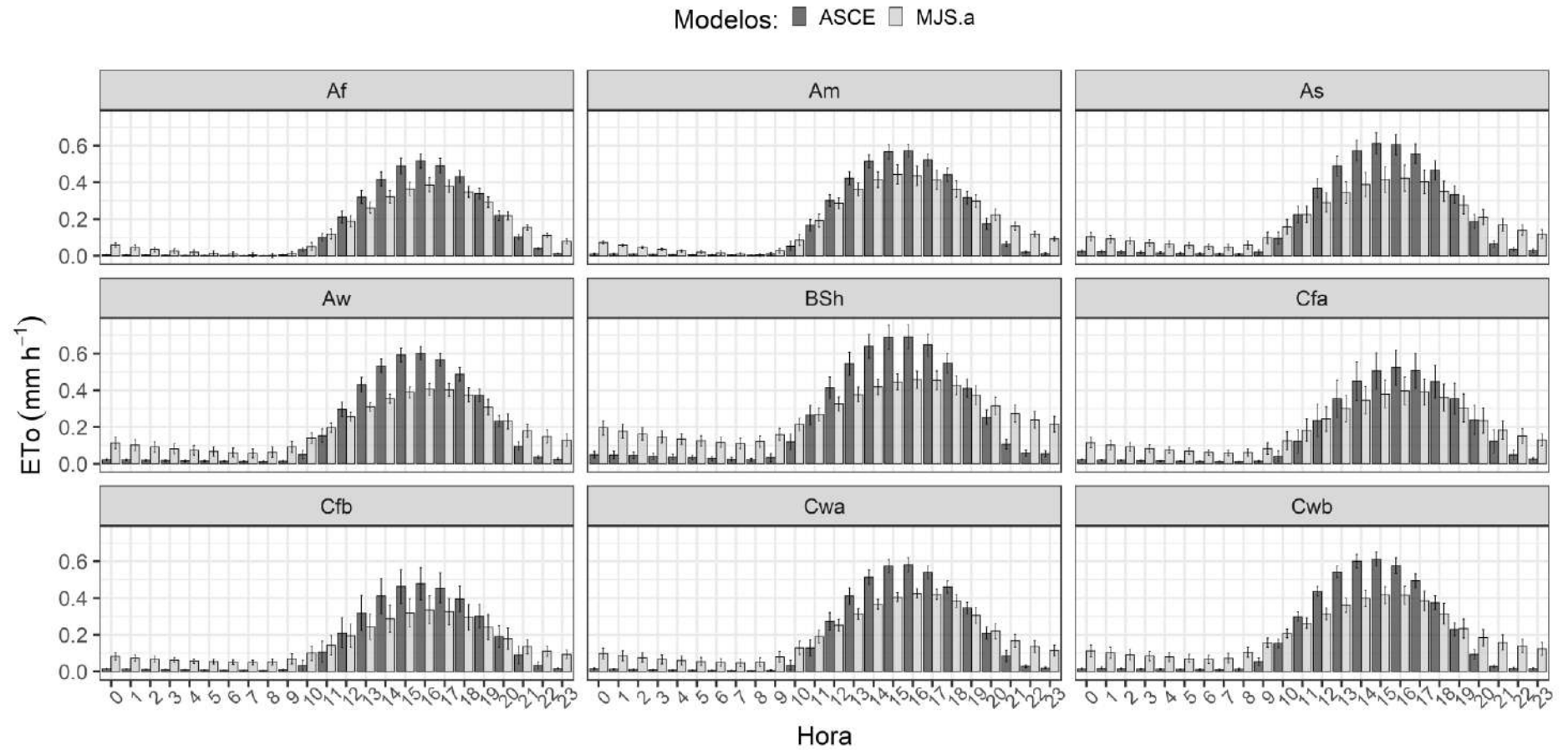
Considerando a média da ETo_h horária dos nove climas analisados (*As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* e *Cwb*), verificou-se que a $ETo_{MJS(\psi_{ar})La.h}$ em relação à $ETo_{ASCE.h}$ apresentou valores subestimados (0,19%, em média) entre 14:00 e 20:00 horas GMT e superestimados (0,05%, em média) entre 21:00 e 13:00 horas (TABELA 3.5). A diferença entre $ETo_{MJS(\psi_{ar})La.h}$ e $ETo_{ASCE.h}$ foram inferiores a 0,5%, e não prejudicaram significativamente o desempenho, apresentando média horária da ETo próxima ao modelo padrão $ETo_{ASCE.h}$.

FIGURA 3.6– MÉDIA HORÁRIA (GMT), POR TIPO CLIMÁTICO, DOS VALORES DAS $ET_{oASCE.h}$ (ASCE), $ET_{oMJS(\psi_{ar})L.h}$ (MJS) E $ET_{oMJS(\psi_{ar})La.h}$ (MJS.a), EM ANÁLISE DE VALIDAÇÃO, APÓS O AJUSTE DOS DESCOMPASSOS.



Fonte: O autor (2024).

FIGURA 3.7– MÉDIA HORÁRIA (GMT) E BARRA DE DESVIO PADRÃO, POR TIPO CLIMÁTICO, DOS VALORES DAS $ET_{oASCE.h}$ (ASCE) E $ET_{oMJS(Var)La.h}$ (MJS.a), EM ANÁLISE DE VALIDAÇÃO, APÓS O AJUSTE DOS DESCOMPASSOS.



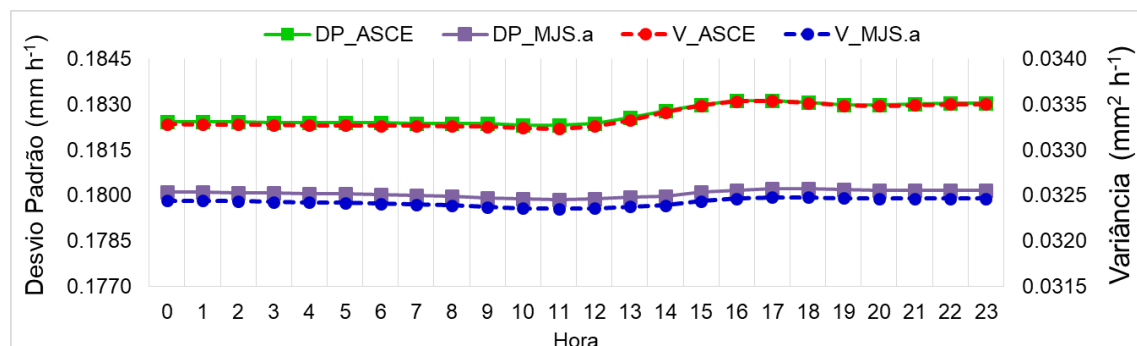
Fonte: O autor (2024).

TABELA 3.5 – VALORES MÉDIOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERENCIA OBTIDOS COM OS MODELOS ASCE-PM PADRÃO ($ET_{ASCE.h}$) E MORETTI-JERSUSKI-SILVA ($ET_{MJS(\psi_{ar})La.h}$), CONSIDERANDO OS NOVE TIPOS CLIMÁTICOS (As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa E Cwb) BRASILEIROS, POR HORA, COM RESPECTIVAS DIFERENÇAS E ANÁLISE DE SUPERESTIMATIVA OU SUBESTIMATIVA.

Hora (h)	$ET_{ASCE.h}$ -----	$ET_{MJS(\psi_{ar})La.h}$ (mm h ⁻¹) -----	Diferença	Diferença (%)	$ET_{MJS(\psi_{ar})La.h}$ vs $ET_{ASCE.h}$ Superestima ou Subestima
0	0,060	0,066	0,006	0,04%	Superestima
1	0,053	0,059	0,006	0,03%	Superestima
2	0,047	0,053	0,005	0,02%	Superestima
3	0,042	0,047	0,005	0,02%	Superestima
4	0,037	0,042	0,004	0,02%	Superestima
5	0,033	0,037	0,004	0,01%	Superestima
6	0,030	0,034	0,004	0,01%	Superestima
7	0,028	0,032	0,004	0,01%	Superestima
8	0,029	0,035	0,006	0,02%	Superestima
9	0,046	0,055	0,009	0,04%	Superestima
10	0,095	0,106	0,010	0,10%	Superestima
11	0,182	0,191	0,010	0,17%	Superestima
12	0,282	0,288	0,006	0,17%	Superestima
13	0,373	0,376	0,002	0,09%	Superestima
14	0,444	0,443	0,001	0,05%	Subestima
15	0,486	0,482	0,004	0,21%	Subestima
16	0,495	0,489	0,006	0,29%	Subestima
17	0,469	0,463	0,006	0,29%	Subestima
18	0,409	0,403	0,007	0,28%	Subestima
19	0,318	0,312	0,006	0,20%	Subestima
20	0,214	0,212	0,002	0,04%	Subestima
21	0,129	0,132	0,003	0,04%	Superestima
22	0,087	0,093	0,006	0,05%	Superestima
23	0,070	0,076	0,007	0,05%	Superestima

A pequena diferença entre $ET_{MJS(\psi_{ar})La.h}$ ($MJS.a$) e $ET_{ASCE.h}$ ($ASCE$) também foram observadas nas médias do desvio padrão (DP) e variância (V) dos nove climas analisados (FIGURA 3.8).

FIGURA 3.8 – MÉDIA HORÁRIA (GMT) DOS DESVIOS PADRÃO E VARIÂNCIA DOS VALORES DE $ET_{oMJS(\Psi_{ar})La,h}$ (DP_MJS.a e V_MJS.a, RESPECTIVAMENTE) E $ET_{oASCE,h}$ (DP_ASCE E V_ASCE, RESPECTIVAMENTE), CONSIDERANDO OS NOVE TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS ANALISADOS.



Fonte: O autor (2024).

3.5.3.3 Indicadores estatísticos do modelo *MJS* antes e após a correção do descompasso

Na TABELA 3.6 e FIGURA 3.9 encontram-se os resultados dos indicadores estatísticos antes e após o ajuste do descompasso da ET_{oMJS} e $ET_{oASCE,h}$.

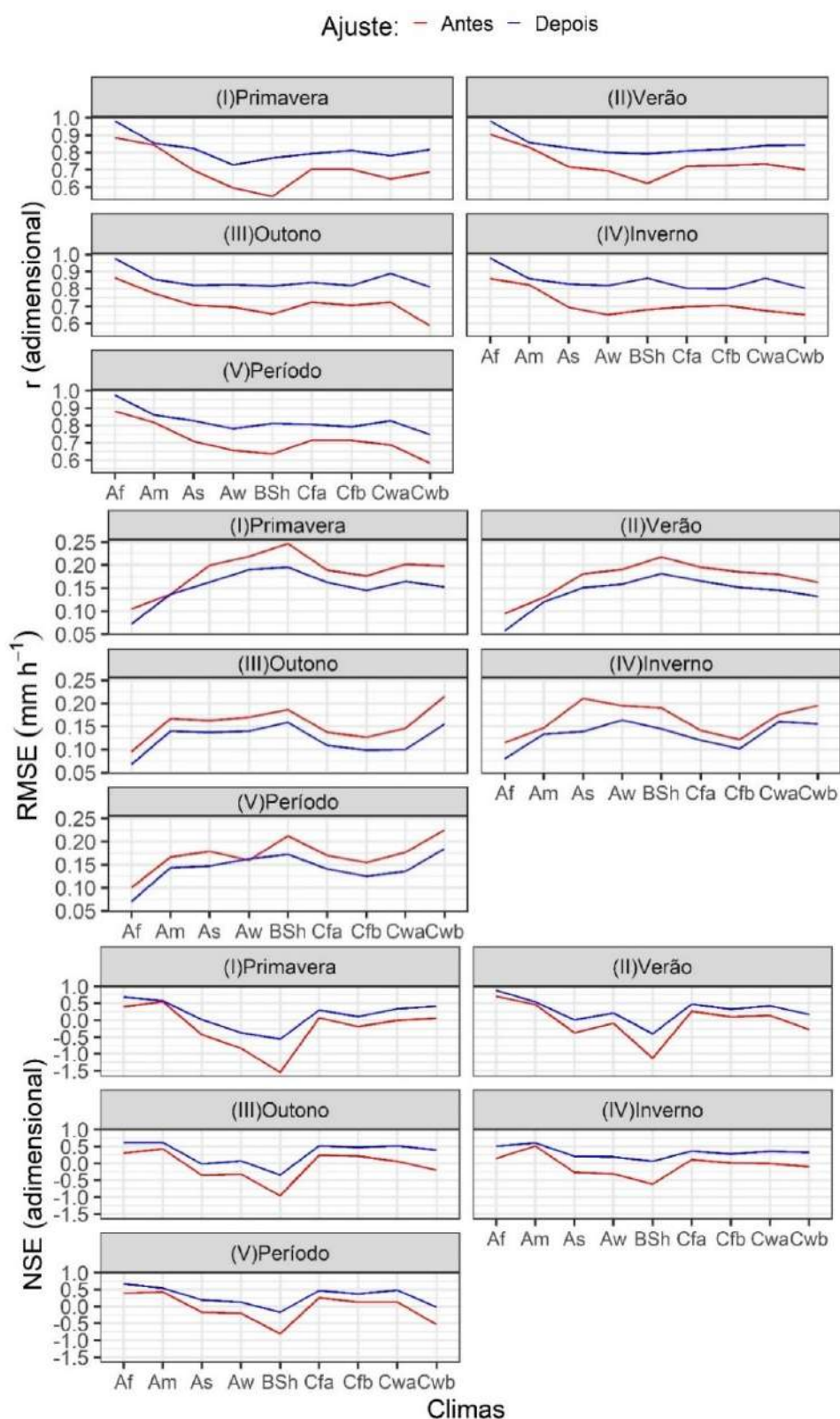
TABELA 3.6 – VARIAÇÃO DOS INDICADORES ESTATÍSTICOS (MÁXIMOS E MÍNIMOS), OBTIDOS DAS ASSOCIAÇÕES ENTRE “ $ET_{oMJS,h}$ vs $ET_{oASCE,h}$ ”, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO, PARA OS CLIMAS BRASILEIRO.

Intervalo	----- “ $ET_{oMJS(\Psi_{ar})La,h}$ vs $ET_{oASCE,h}$ ” -----			----- “ $ET_{oMJS(\Psi_{ar})La,h}$ vs $ET_{oASCE,h}$ ” -----		
	Obtidos antes do ajuste do descompasso			Obtidos após o ajuste do descompasso		
	$r^{(1)}$	$RMSE^{(2)}$	$NSE^{(3)}$	$r^{(1)}$	$RMSE^{(2)}$	$NSE^{(3)}$
Período	0,58 a 0,88	0,10 a 0,23	– 0,81 a 0,43	0,75 a 0,98	0,07 a 0,19	– 0,17 a 0,67
Primavera	0,55 a 0,89	0,11 a 0,25	– 1,55 a 0,54	0,74 a 0,98	0,07 a 0,19	– 0,56 a 0,69
Verão	0,62 a 0,91	0,10 a 0,22	– 1,13 a 0,70	0,79 a 0,98	0,06 a 0,18	– 0,40 a 0,88
Outono	0,59 a 0,87	0,10 a 0,22	– 0,96 a 0,43	0,81 a 0,98	0,07 a 0,16	– 0,35 a 0,61
Inverno	0,65 a 0,86	0,12 a 0,21	– 0,62 a 0,51	0,80 a 0,98	0,08 a 0,16	0,06 a 0,60

⁽¹⁾ r – Coeficiente de correlação (adimensional); ⁽²⁾ $RMSE$ – Raiz quadrada do erro quadrado médio (mm h^{–1}); ⁽³⁾ NSE – Eficiência de Nash-Sutcliffe (adimensional).

Em média, as melhores associações ocorreram para as localidades que necessitaram de apenas uma hora de ajuste (climas *Af* e *Am*; TABELA 3.3), em relação às estações que precisaram de duas horas de ajuste (Climas: *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* e *Cwb*). O descompasso “zero” ocorreu em apenas uma das 91 localidades analisadas. Logo, considerando a média climática, os resultados indicaram recomendação de ajuste do descompasso de uma ou duas horas.

FIGURA 3.9 – INDICADORES ESTATÍSTICOS⁽¹⁾ OBTIDOS DAS ASSOCIAÇÕES ENTRE “ $ET_{0MJS}(\psi_{ar})_{L,h}$ vs $ET_{0ASCE,h}$ ” E “ $ET_{0MJS}(\psi_{ar})_{L,h}$ vs $ET_{0ASCE,h}$ ”, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO, RESPECTIVAMENTE, PARA OS CLIMAS BRASILEIROS.

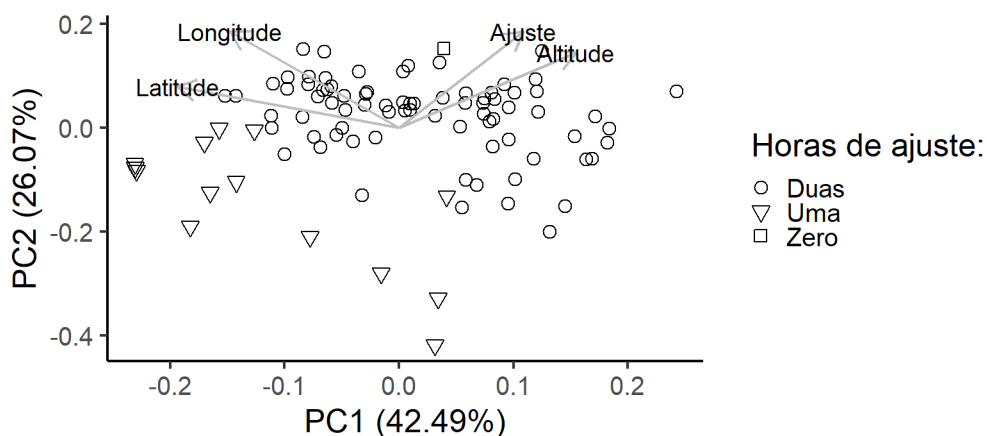


⁽¹⁾ r – Coeficiente de correlação (adimensional); $RMSE$ – Raiz quadrada do erro quadrado médio (mm h^{-1}); NSE – Eficiência de Nash-Sutcliffe (adimensional).

3.5.3.4 Distribuição espacial do ajuste do modelo Moretti-Jerszurki-Silva

Mediante a necessidade de ajuste da $ETo_{MJS(\psi_{ar})La,h}$, valores das altitudes, longitudes e latitudes das 91 estações analisadas foram avaliados como critério de escolha do ajuste mais adequado (“zero”, uma ou duas horas). A análise de componentes principais indicaram resposta ao fenômeno quanto à PC1 e PC2, em 68,56%. O ajuste de duas horas foi o mais recorrente entre as 91 estações analisadas, seguido do ajuste de uma e “zero” horas (FIGURA 3.10).

FIGURA 3.10 – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS, CONSIDERANDO NAS PC1 E PC2, AS 91 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS ANALISADAS E AJUSTES (“ZERO”, UMA E DUAS HORAS), CONFORME AS RESPECTIVAS ALTITUDE, LATITUDE E LONGITUDE.



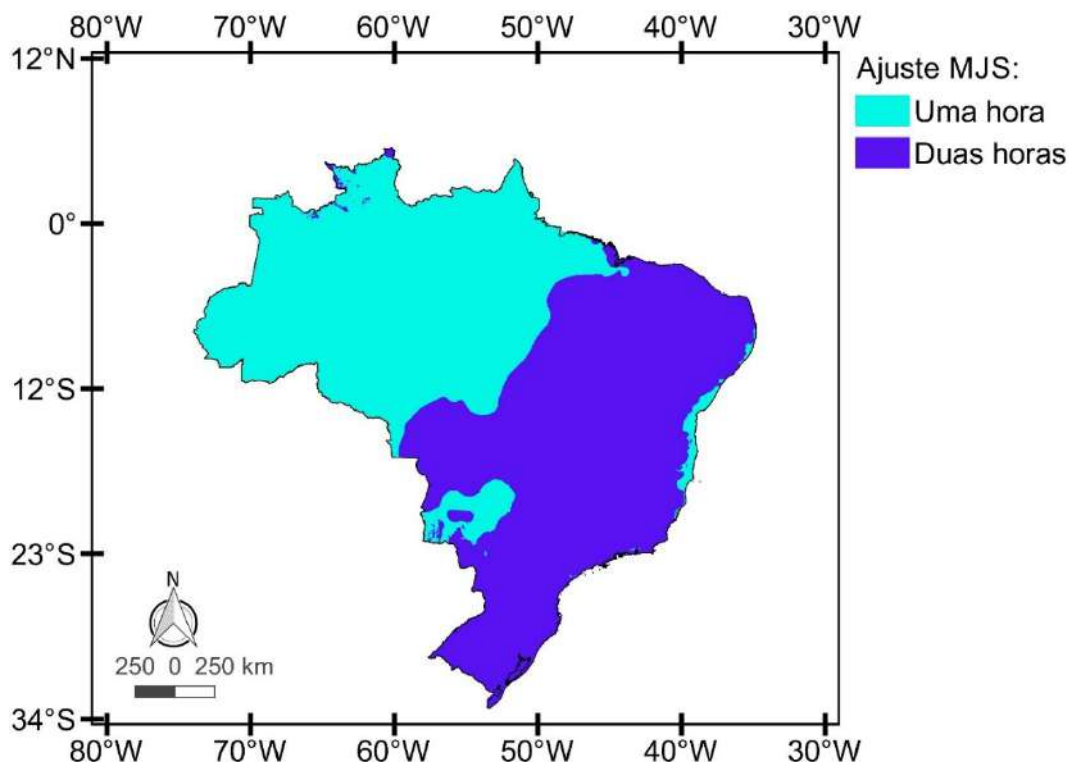
Fonte: O autor (2024).

Houve correlação mais próxima e positiva do ajuste com a altitude (0,25), bem como correlação inversa (negativa) com a longitude (−0,10) e latitude (−0,12) (FIGURA 3.10). Como as correlações foram baixas, ficou evidente que o ajuste não pode ser determinado considerando uma única componente. Assim, latitude, longitude e altitude devem ser consideradas simultaneamente, pois o ajuste é resultado das diferentes interações entre elas. O resultado obtido concorda com as considerações de Gomes et al. (2005), que constataram associação conjunta da latitude, longitude e altitude das estações analisadas para realizar as estimativas da ETo mensal.

Na FIGURA 3.11 encontram-se espacializados os valores médios dos descompassos da ETo_h estimada com o modelo Moretti-Jerszurki-Silva linear ajustado ($ETo_{MJS(\psi_{ar})La,h}$; TABELA 3.2), conforme ocorrência do tipo climático no Brasil. O ajuste “zero” ocorreu apenas em Vitória da Conquista, clima *Am*. Por esse motivo, a média

dos ajustes conforme o clima não contemplou sua ocorrência no mapa (FIGURA 3.11), tendo apenas ajustes de uma e duas horas.

FIGURA 3.11 – ESPACIALIZAÇÃO DOS DESCOMPASSOS MÉDIOS (UMA E DUAS HORAS) DO MODELO MORETTI-JERSZURKI-SILVA, PARA AS 91 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS ANALISADAS, CONSIDERANDO OS CLIMAS BRASILEIROS.



Fonte: O autor (2024).

3.6 CONCLUSÕES

– O módulo desenvolvido para realizar os ajustes do modelo Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*) para a estimativa da evapotranspiração de referência (*ET_o*) horária (*Módulo_{ASCE-A}*) permitiu realizar adequadamente a calibração do modelo *MJS* e estabelecer os parâmetros lineares e quadráticos para os tipos climáticos brasileiros (*Am*, *Af*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* e *Cwb*). Os valores de *ET_o* estimados com os modelos *MJS* linear e quadrático foram iguais estatisticamente. Mas, pela simplicidade, o modelo linear é mais recomendado para realizar a estimativa a *ET_{o,MJS}* horária. Os coeficientes lineares (“*a*”) médios das estações do ano e período anual ficaram entre $-1,00$ e $0,04 \text{ mm h}^{-1}$, e os coeficiente angulares (“*b*”) entre $-9\text{E}-08$ e $-2\text{E}-08 \text{ mm h}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$;

- As associações entre “ $ETo_{ASCE.h}$ vs $ETo_{MJS(\Psi_{ar})L.h}$ ” evidenciaram a necessidade de ajuste do modelo *MJS* quanto à ocorrência de descompasso para todos os climas brasileiros. Com a correção do descompasso do modelo *MJS* ($ETo_{MJS(\Psi_{ar})La.h}$) as associações “ $ETo_{ASCE.h}$ vs $ETo_{MJS(\Psi_{ar})La.h}$ ” tiveram melhoria em todos os indicadores estatísticos considerados;
- Em média, há descompasso da ETo_{MJS} de uma hora para os climas *Am* e *Af* e duas horas para os climas *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* e *Cwb*. O descompasso tem como motivo diferenças na magnitude dos valores das variáveis de entrada no modelo *MJS* ($T_{méd}$ e $UR_{méd}$) e *ASCE* ($T_{méd}$, Rn , Δe e u_2);
- A magnitude e tendência da média da ETo_h horária ao longo do dia dependem do tipo climático. Em média, maiores valores de ETo_h ocorrem entre 15:00 e 17:00 horas nos climas *Cfa* e *Cfb*, e entre as 14:00 e 16:00 horas nos climas *Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cwa* e *Cwb*. Os horários de pico da ETo_h estão diretamente relacionados com os picos da variável R_s utilizada para estimar a Rn ; e,
- Em média, a $ETo_{MJS(\Psi_{ar})La.h}$, subestimou 0,19% da $ETo_{ASCE.h}$ entre 14:00 e 20:00 horas (GMT) e subestimou em 0,05% entre 21:00 e 13:00 horas (GMT). As diferenças observadas entre os valores de ETo não são significativas (abaixo de 5%), indicando boas estimativas com o modelo *MJS* linear.

3.7 REFERÊNCIAS

- ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ETo padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Revista Engenharia Agrícola**. v.35, n.1, p.39-50. 2015. Doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430>.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage**, Roma, FAO, Paper n.56, 1998.
- ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O.; WRIGHT, J. L.; HOWELL, T. A.; VENTURA, F.; et al. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith method. **Agricultural Water Management**, v.8, n.2, p.1-22. 2006.
- ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L. N. Improvement of reference crop evapotranspiration estimates using limited data for the Brazilian Cerrado. **Scientia Agrícola**, v.80, 2023. Doi: <http://doi.org/10.1590/1678-992X-2021-0229>.

ASCE-EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Report of the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. Reston: **Institute of the American Society of Civil Engineers**; 2005.

BERENGENA, J.; GAVILÁN, P. Reference Evapotranspiration Estimation in a Highly Advective Semiarid Environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering** v.131, n.2, p.147-163. 2005.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária. Trop.**, Goiânia, v.41, n.3, p.456-465. 2011.

GAVILÁN, P.; BERENGENA, J.; ALLEN, R. G. Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: impact on Penman-Monteith reference ET estimates in semiarid regions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.89, n.3, p. 275-286, 2007.

GOMES, A. A. N.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MEDEIROS, R. M. Evaporação de referência mensal para o Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, 9:560-564. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000400019>

JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M.; SILVA, L. C. R. Expanding the geography of evapotranspiration: An improved method to quantify land-to-air water fluxes in tropical and subtropical regions. **PLOS ONE**, v.12, n.6, 2017. Doi:10.1371/journal.pone.0180055.

JI, X. B.; CHENC, J. M.; ZHAOA, W. Z.; KANGA, E. S.; JINA, B. W; XUD, S.Q. Comparison of hourly and daily Penman-Monteith grass and alfalfa reference evapotranspiration equations and crop coefficients for maize under arid climatic conditions. Contents lists available at ScienceDirect. **Agricultural Water Management**, p.1-11. 2017. Doi:10.1016/j.agwat.2017.06.019.192.

KOPPEN, W. **Das geographische System der Klimate**. – Koppen WR. GEIGER – Gebruder Borntrager, Berlin, (Eds.): Handbuch der Klimatologie, part C. v.1, p.1-44. 1936.

LACERDA, Z. C.; TURCO, J. E. P. Estimation methods of reference evapotranspiration (ET_o) for Uberlândia-MG. **Revista Engenharia Agrícola**, v.35, n.1, p.27-38. 2015. Doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430>

LECINA, S.; MARTINEZ-COB, A.; PEREZ, P. J.; VILLALOBOS, F. G.; BASELGA, J. J. Fixed versus bulk canopy resistance for reference evapotranspiration estimation using the Penman-Monteith equation under semiarid conditions. **Agricultural Water Management**, v.60, n.3, p.181-198. 2003. Doi: 10.1016/S0378-3774(02)00174-9.

LOOSS, B.; VEIGA, S. D.; JANON, A.; PUJOU, G. **Global Sensitivity Analysis of Model Outputs. Package ‘sensitivity’**. 2021. URL: <<https://cran.r-project.org/web/packages/sensitivity/sensitivity.pdf>>.

LOPES, I.; LEAL, B. G. Evapotranspiração horária x diária utilizando Penman-Monteith para o polo de desenvolvimento Petrolina-PE/Juazeiro-BA. **Revista Brasileira e Agricultura Irrigada**, v.10, n.5, p. 914-924. 2016.

LÓPEZ-URREA, R.; OLALLA, F. M. S.; FABEIRO, C.; MORATALLA, A. An evaluation of two hourly reference evapotranspiration equations for semiarid conditions. **Agricultural Water Management**, v.86, n.3, p.277-282. 2006.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. Simple Linear Regression and Correlation. p. 401-512. 2009. Disponível em: <<http://www.leg.ufpr.br/~walmes/ensino/ce071-2014-01/cap11e12.pdf>> Acesso em 17 de janeiro de 2022.

NOLZ, R.; RODNÝ, M. Evaluation and validation of the ASCE standardized reference evapotranspiration equations for a subhumid site in northeastern Austria. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**. v.67, n.3, p.289-296. 2019.

OLIVEIRA, S. R. Ajuste do método Moretti-Jerszurki-Silva para estimar a evapotranspiração de referência diária e horária dos tipos climáticos brasileiros. **Tese (Doutorado)** - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Curitiba. 2018. Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/tese_2018_oliveira_s_r.pdf>. Acesso em 16 de abril de 2022.

PAREDES, P.; PEREIRA, L. S.; ALMOROX, J.; DAROUICH, H. Reference grass evapotranspiration with reduced data sets: Parameterization of the FAO Penman-Monteith temperature approach and the Hargeaves-Samani equation using local climatic variables. **Agricultural Water Management**. 2020.

PAREDES, P.; TRIGO, I.; BRUIN, H. de.; SIMÕES, N.; PEREIRA, L. Daily grass reference evapotranspiration with Meteosat Second Generation shortwave radiation and reference ET products. **Agricultural Water Management**, 2021.

PENMAN, H. L. Natural Evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, p.120-145. 1948. Doi:10.1098/rspa.1948.0037.

ROSA, S. L. K. Alternativas para utilização e otimização do método ASCE Penman-Monteith na ausência de dados em quantidade e qualidade. **Tese (Doutorado em Ciência do Solo)**. 151p. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023. Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/tese_2023_rosa_s_l_k.pdf>. Acesso em 16 de abril de 2023.

RStudio Team. **RStudio: Integrated Development for R**. RStudio, PBC, Boston, MA. 2022. URL:<<http://www.rstudio.com/>>.

SANTOS, A. A. **Evapotranspiração de referência horária e diária para o Estado do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2020. 214p.

SANTOS, A. A.; SOUZA, J. L. M.; ROSA, S. L. K. Hourly and Daily Reference Evapotranspiration with ASCE-PM Model for Paraná State, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**. 2021a. ISSN 1982-4351. <https://doi.org/10.1590/0102-77863610009>

SANTOS, A. A.; SOUZA, J. L. M.; ROSA, S. L. K. Evapotranspiration with the Moretti-Jerszurki-Silva model for the Brazilian sub-tropical climate. **Hydrological Sciences Journal**, v.66, n.16, p.1-13, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1988610>

SOUZA, J. L. M.; OLIVEIRA, S. R. ROSA, S. L.; JERSZURKI, D. Hourly reference evapotranspiration by Moretti-Jerszurki-Silva method using data from alternative station. **Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**. v.25, n.8, p.505-513. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n8p505-513>

TEGOS, A.; MALAMOS, N.; EFSTRATIADIS, A.; TSOUKALAS, I.; KARANASIOS, A.; KOUTSOYIANNIS, D. Parametric Modelling of Potential Evapotranspiration: A Global Survey. **Water**, 9 (795), p.1-22, 2017. DOI:10.3390/w9100795

TRAJKOVIC, S. Comparison of Radial Basis Function Networks and Empirical Equations for Converting from Pan Evaporation to Reference Evapotranspiration. **Hydrological Processes**, v.23, n.6, p.874-880. 2009.

TREDER, W.; KLAMKOWSKI, K. An hourly reference evapotranspiration model as a tool for estimating plant water requirements. Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie. **Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich infrastructure and ecology of rural areas**, v.2, n. 1, p.469-481. 2017. Doi: 10.14597/infraeco.2017.2.1.035.

VALLADARES NETO, J.; SANTOS, C. B.; TORRES, E. M.; ESTRELA, C. Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos. **Revista Odontologia Brasileira Central**. v.26, n.76, p.1-6. 2017.

VENTURA, F.; SPANO, D.; DUCE, P.; SNYDER, R. L. An evaluation of common evapotranspiration equations. **Irrigation Science**, v.18, p.163-170. 1999.

WICKHAM, H.; CHANG, W.; HENRY, L.; PEDERSEN, T. L.; TAKAHASHI, K.; WILKE, C.; WOO, K.; YUTANI, H.; DUNNINGTON, D. **Ggplot2: Create Elegant Data Visualizations Using the Grammar of Graphics**. R em interface RStudio, PBC, Boston, MA. 2022. URL: <https://ggplot2.tidyverse.org/>

ZAMBRANO-BIGIARINI, M. 2020. **hydroGOF: Goodness-of-fit functions for comparison of simulated and observed hydrological time series**. R package version 0.3-10. URL <<https://cran.r-project.org/web/packages/hydroGOF/hydroGOF.pdf>>. URL:> <https://github.com/hzambran/hydroGOF>>.

4 CAPÍTULO IV – VALIDAÇÃO DE MODELOS ADAPTADOS E REDUZIDOS PARA ESTIMAR SÉRIES DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA E HORÁRIA, PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS, CONSIDERANDO APENAS A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR

4.1 RESUMO

Teve-se por objetivo no presente estudo, associar e analisar séries diárias e horárias de evapotranspiração de referência ($ET_{o,d}$ e $ET_{o,h}$, respectivamente), estimadas com o modelo padrão da *American Society of Civil Engineers* (Diário: $ET_{o,ASCE,d}$; Horário: $ET_{o,ASCE,h}$) e adaptados/reduzidos, considerando apenas a variação da temperatura do ar. Os modelos analisados foram: *Penman-Monteith-Reduzido* (Diário: $ET_{o,PMR,d}$; Horário: $ET_{o,PMR,h}$), Moretti-Jerszurki-Silva linear e diário ($ET_{o,MJS(\psi_{ar})L,d}$), Moretti-Jerszurki-Silva-Ajustado linear e horário ($ET_{o,MJS(\psi_{ar})La,h}$), Turc diário ($ET_{o,T,d}$) e ajustado para periodicidade horária ($ET_{o,Ta,h}$). Nas análises, foram utilizadas séries de dados climáticos de 27 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas nos principais tipos climáticos brasileiros (*Am*, *Af*, *As*, *Aw*, *Bsh*, *Cwa*, *Cwb*, *Cfa* e *Cfb*), compreendendo o período entre 01/01/2017 e 31/12/2020. Dezoito estações (duas por tipo climático) foram utilizadas para obter os valores médios das variáveis climáticas ($UR_{med,p}$, $Rs_{med,p}$, $Rn_{med,p}$, $u_{2med,p}$, $es_{med,p}$ e $ea_{med,p}$) necessárias para estimar a ET_o (período entre 01/01/2017 e 31/12/2018), e nove foram utilizadas para validação (uma por clima; período entre 01/01/2019 e 31/12/2020). As associações foram realizadas conforme as periodicidades diária e horária entre os valores estimados de ET_o com o modelo ASCE padrão e adaptado/reduzido. A qualidade das associações foi avaliada com os indicadores: coeficiente de correlação (r); raiz quadrada do erro quadrado médio ($RMSE$); e, eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE). Verificou-se que: *i*) Dos modelos adaptados/reduzidos testados, considerando apenas a temperatura do ar como variável de entrada, apenas o modelo Penman-Monteith-Reduzido tem precisão para estimar a $ET_{o,PMR,h}$ horária em oito dos nove tipos climáticos brasileiros. Os modelos $MJSa,h$ e Turc-Ajustado não são indicados para estimar a ET_o , generalizadamente, dos tipos climáticos brasileiros; *ii*) Os modelos Penman-Monteith-Reduzido, MJS,d e Turc não são indicados para estimar a ET_o na periodicidade diária tendo apenas a temperatura do ar como variável de entrada, sendo indicada a sua utilização somente em regiões remotas, em que os dados meteorológicos são de difícil obtenção ou não são confiáveis; e, *iii*) O somatório das ET_o horárias das 24 horas do dia com os modelos adaptados/reduzidos Penman-Monteith-Reduzido (PMR,d_{24}), $MJSa,h$ (MJS,d_{24}) e Turc-Ajustado (T,d_{24}), tendo apenas a temperatura do ar como variável de entrada, também não é indicado para estimar a ET_o diária.

Palavras-chave: Ciclo hidrológico. Relações hídricas. Modelo matemático. Variáveis climáticas. ET_o .

4.2 ABSTRACT

The objective of this study was to associate and analyze daily and hourly series of reference evapotranspiration (ETo_d and ETo_h , respectively), estimated with the standard model of the American Society of Civil Engineers (Daily: $ETo_{ASCE.d}$; Hourly: $ETo_{ASCE.h}$) and adapted/reduced, considering only the variation in air temperature. The models analyzed were: Penman-Monteith-Reduced (Daily: $ETo_{PMR.d}$; Hourly: $ETo_{PMR.h}$), Moretti-Jerszurki-Silva linear and daily ($ETo_{MJS(\psi_{ar})L.d}$), Moretti-Jerszurki-Silva-Adjusted linear and hourly ($ETo_{MJS(\psi_{ar})L.h}$), daily Turc ($ETo_{T.d}$) and adjusted for hourly periodicity ($ETo_{Ta.h}$). In the analyses, climate data series were used from 27 meteorological stations from the National Institute of Meteorology (INMET), located in the main Brazilian climate types (*Am*, *Af*, *As*, *Aw*, *Bsh*, *Cwa*, *Cwb*, *Cfa* and *Cfb*), comprising the period between 01/01/2017 and 12/31/2020. Eighteen stations (two per climate type) were used to obtain the average values of the climatic variables ($UR_{average.p}$, $Rs_{average.p}$, $Rn_{average.p}$, $u_{2average.p}$, $es_{average.p}$ and $ea_{average.p}$) necessary to estimate the ETo (period between January 1, 2017, and December 31, 2018), and nine were used for validation (one per climate; period between January 1, 2019, and December 31, 2020). The associations were made according to the daily and hourly periodicities between the estimated ETo values with the *ASCE* standard model and adapted/reduced. The quality of the associations was assessed using the following indicators: correlation coefficient (r); root mean square error ($RMSE$); and, Nash-Sutcliffe efficiency (NSE). Checked that: *i*) The adapted/reduced models tested, considering only air temperature as an input variable, only the Penman-Monteith-Reduced model is accurate enough to estimate the hourly $ETo_{PMR.h}$ in eight of the nine Brazilian climate types. The $MJSa.h$ and Turc-Adjusted models are not recommended for estimating ETo , generally, for Brazilian climate types; *ii*) The Penman-Monteith-Reduced, $MJS.d$, and Turc models are not suitable for estimating ETo daily with only air temperature as an input variable, and their use is recommended only in remote regions, where meteorological data are difficult to obtain or unreliable; and, *iii*) The sum of the hourly ETo of the 24 hours of the day with the adapted/reduced models Penman-Monteith-Reduced ($PMR.d_{24}$), $MJSa.h$ ($MJS.d_{24}$) and Turc-Adjusted ($T.d_{24}$), having only air temperature as an input variable is also not recommended for estimating daily ETo .

Keywords: Hydrological cycle. Water relations. Mathematical model. Climate variables. ETo .

4.3 INTRODUÇÃO

A evapotranspiração (ET) é resultado do somatório da evaporação do solo e transpiração das plantas, sendo regida pelas interações ambientais e disponibilidade de água para as plantas, fator que lhe atribui complexidade de cálculo. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi idealizada para quantificar a perda de água por uma cultura hipotética de referência, como a grama (porte baixo; 0,12 m de altura) ou alfafa (porte alto: 0,50 m de altura), assumindo-se perfeito desenvolvimento vegetativo e condições ideais de suprimento de água (Allen, 1998; ASCE-EWRI, 2005). Assim, tendo-se conhecimento das variáveis internas (aspectos fenológicos da planta, tais como velocidade de abertura e fechamento estomático e área foliar) torna-se possível identificar as mudanças da ET_o mediante influência das variáveis externas, tais como mudanças de temperatura, radiação, velocidade do vento e umidade relativa (Jerszurki et al., 2017; Souza et al., 2021; Santos et al., 2021a; Rosa, 2023).

A ET_o pode ser medida diretamente em evapotranspirômetros e lisímetros. No entanto, na atualidade, devido à complexidade, custos e necessidades de mão de obra especializada nestes aparelhos a estimativa da ET_o com métodos indiretos/equações ganhou a preferência no desenvolvimento dos trabalhos científicos (Rosa, 2023).

Muitas equações e alternativas matemáticas foram desenvolvidas e estudadas nas últimas décadas. No entanto, a literatura considera padrão o modelo proposto pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE; ASCE-EWRI, 2005), que compreende à variação do modelo de Penman-Monteith (Allen, 1998). O modelo ASCE foi desenvolvido baseando-se nos princípios termodinâmicos, físicos e aspectos fenológicos da planta, possibilitando a estimativa da ET_o na periodicidade diária e horária, conforme os tipos de superfícies (cultura agrícola de porte baixo e alto) de referência (Gavilán et al., 2007; Carvalho et al., 2011; Alencar et al., 2015; Lacerda e Turco, 2015; Santos et al., 2021a).

Atualmente, é grande o interesse por séries longas de ET_o diária e horária, que podem ser utilizadas para finalidades como irrigação, balanços hídricos e espacialização por sensoriamento remoto em grandes áreas, permitindo melhor planejamento e precisão na utilização dos recursos hídricos e do solo (Paredes et al., 2020; Paredes et al., 2021; Santos et al., 2021a; Rosa, 2023). As estimativas de séries

de *ETo* podem ser realizadas em diferentes periodicidades (mensal, diária e horária). Apesar da *ETo* na periodicidade horária serem apontadas como mais precisas (Treder e Klamkowski, 2017; Nolz e Rodný, 2019), ajustes e testes precisam ser realizados, visto que a maioria dos modelos alternativos estimam o seu valor para a periodicidade diária ou mensal.

Quando todos os dados climáticos necessários como entrada no modelo *ASCE* não estão disponíveis, modelos alternativos que necessitam de menor número de variáveis (adaptados/reduzidos) são comumente utilizados. Dentre os modelos adaptados/reduzidos, a metodologia Penman-Monteith-Reduzido (*PMR*; Paredes et al., 2020) permite a associação de imagens de satélite com dados de temperatura do solo, bem como a utilização de médias das variáveis para o período desejado, variando apenas na temperatura. Originalmente o modelo *PMR* realiza estimativa diária da *ETo*. Contudo, com adequadas modificações, estimativas horárias da *ETo* também são possíveis. O modelo *PMR* necessita das mesmas entradas do *ASCE* padrão, e com exceção da temperatura do ar, que varia normalmente, a diferença consiste em utilizar médias das demais variáveis de entrada. O modelo de Turc (1961), outra metodologia promissora para estimar a *ETo* horária e diária, considera a temperatura média ($T_{méd}$) e radiação solar incidente (R_s). A equação original de Turc estima a *ETo* mensal, mas modificações realizadas por Fisher e Pringle (2013) permitiram obter a *ETo* diária, havendo também a possibilidade de realizar seu ajuste para a periodicidade horária. Após o procedimento de calibração de seus coeficientes, o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (*MJS*; Jerszurki et al., 2017) também permite estimar a *ETo* diária ou horária com o potencial hídrico atmosférico (Ψ_{ar}), que necessita como entrada apenas da umidade relativa (UR) e $T_{méd}$ do ar.

Modelos adaptados/reduzidos bem ajustados possibilitam realizar estudos da *ETo* em regiões remotas (sem estação meteorológica, ou que apresentem dificuldade para obter os dados necessários), em diferentes periodicidades e para grandes áreas. Além disso, são métodos passíveis de adaptação para serem utilizados com dados obtidos por sensoriamento remoto, facilitando estimativas (Shwetha e Kumar, 2018; Paredes et al., 2020). Silva (2021) considerou que o uso dos modelos adaptados/reduzidos é interessante para realizar a espacialização da *ETo*, por necessitar de poucas variáveis ou a média das mesmas, que podem ser obtidas via satélite ou em estações meteorológicas. Contudo, os satélites atuais não

disponibilizam gratuitamente imagens diárias para as variáveis climáticas, fato que dificulta sua utilização.

Estudos analisando equações de estimativa da ET_o diária verificaram para algumas localidades que a entrada de valores médios das variáveis do modelo PMR podem resultar em estimativas de ET_o com erros significativos. Outro aspecto importante, é que as estimativas do modelo $ASCE$ padrão também podem variar bastante quando o Rn não é medido, podendo ocorrer superestimativas de até 27% (Turco et al., 2005; Yin et al., 2008). Rosa (2023) verificou para os climas mundiais maior sensibilidade do modelo $ASCE-PM$ para a variável Rn , e evidenciou para Piracicaba-SP que os modelos comumente utilizados para estimar o Rn podem apresentar erros entre 25,5 a 29,8% de superestimativa. Como dados medidos do Rn são difíceis de serem obtidos (Rosa, 2023), modelos como MJS e $Turc$ (que não consideram o Rn como entrada) podem ser uma alternativa interessante. Assim, desde que devidamente calibrados, testados e validados, os modelos PMR , MJS e $Turc$ poderão viabilizar posteriormente estudos da ET_o espacializada em grandes áreas, para diversas periodicidades, em regiões e locais que não apresentem série de dados consistentes em quantidade e qualidade para serem utilizadas no método $ASCE$ padrão.

Diante do contexto apresentado, teve-se por objetivo no presente estudo analisar a precisão de modelos adaptados/reduzidos (Penman-Monteith-Reduzido, Moretti-Jerszurki-Silva e Turc), que utilizam apenas a temperatura média do ar como variável de entrada, para estimar a evapotranspiração de referência diária (ET_{od}) e horária (ET_{oh}), dos principais tipos climáticos brasileiros (Af , Am , As , Aw , Bsh , Cfa , Cfb , Cwa e Cwb), tendo como padrão o modelo $ASCE$.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Estações meteorológicas selecionadas

As análises foram realizadas considerando três estações meteorológicas por tipo climático brasileiro (TABELA A.1.2; Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa e Cwb), estabelecidos conforme a classificação climática de Köppen (1936). O critério para a escolha da estação a ser utilizada baseou-se no menor percentual de falhas das séries de dados (TABELA 4.1).

TABELA 4.1 – ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS, POR TIPO CLIMÁTICO BRASILEIRO, QUE TIVERAM OS DADOS UTILIZADOS PARA ESTIMAR A ET_0 COM O MODELO ASCE-PM PADRÃO E REALIZAR A CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS ADAPTADOS/REDUZIDOS.

Clima	Estação	Estado	Latitude (graus)	Longitude (graus)	Altitude (m)	Falha geral (%)
----- Estações selecionadas para calibração -----						
<i>Af</i>	Belém	PA	– 1,433	– 48,433	10,00	2
<i>Af</i>	Cruz das Almas	BA	– 12,667	– 39,083	225,87	17
<i>Am</i>	Macapá	AP	– 0,050	– 51,117	14,46	15
<i>Am</i>	Vitória	ES	– 20,317	– 40,317	36,20	16
<i>As</i>	São Gonçalo	RJ	– 6,750	– 38,217	233,06	2
<i>As</i>	Natal	RN	– 8,417	– 37,083	680,70	3
<i>Aw</i>	Goiânia	GO	– 16,667	– 49,250	741,48	0
<i>Aw</i>	Imperatriz	MA	– 17,917	– 51,717	662,86	1
<i>BSh</i>	Itaberaba	BA	– 12,517	– 40,283	249,89	5
<i>BSh</i>	Remanso	BA	– 9,633	– 42,100	400,51	3
<i>Cfa</i>	Maringá	PR	– 23,400	– 51,917	542,00	4
<i>Cfa</i>	Porto Alegre	RS	– 31,333	– 54,100	242,31	3
<i>Cfb</i>	Lagoa Vermelha	RS	– 28,217	– 51,500	840,00	1
<i>Cfb</i>	São Joaquim	SC	– 28,217	– 52,400	684,05	0
<i>Cwa</i>	Florestal	MG	– 19,885	– 44,417	753,00	1
<i>Cwa</i>	Resende	RJ	– 18,520	– 46,439	940,28	2
<i>Cwb</i>	Araxá	MG	– 19,606	– 46,949	1018,00	1
<i>Cwb</i>	Mocimbo	MG	– 18,239	– 43,617	1296,12	1
----- Estações selecionadas para validação -----						
<i>Af</i>	Salvador	BA	– 13,005	– 38,506	51,41	0
<i>Am</i>	Rio de Janeiro	RJ	– 22,895	– 43,186	11,10	2
<i>As</i>	Montes Claros	MG	– 16,686	– 43,844	652,00	0
<i>Aw</i>	Brasília	DF	– 15,790	– 47,926	1159,54	0
<i>BSh</i>	Irecê	BA	– 11,300	– 41,867	747,16	2
<i>Cfa</i>	Florianópolis	SC	– 27,603	– 48,620	1,84	0
<i>Cfb</i>	Castro	PR	– 24,783	– 50,000	1008,80	0
<i>Cwa</i>	Bambu	MG	– 20,031	– 46,009	661,27	1
<i>Cwb</i>	Ibirité	MG	– 20,017	– 44,050	814,54	0

No total, 27 estações meteorológicas foram selecionadas, sendo que 18 tiveram os seus dados climáticos utilizados para calibração dos modelos testados (período entre 01/01/2017 e 31/12/2018), bem como para obter as médias da $UR_{med.p}$, $Rs_{med.p}$, $Rn_{med.p}$, $ea_{med.p}$, $es_{med.p}$ e $u_{2med.p}$, para cada tipo climático (TABELA 4.1). Uma estação meteorológica por clima, totalizando nove, tiveram seus dados utilizados para validação dos modelos testados (período entre 01/01/2019 e 31/12/2020).

4.4.2 Equações para estimativa da evapotranspiração de referência diária (ET_d) e horária (ET_h)

a) Modelo ASCE padrão, horário ($ET_{ASCE,h}$) e diário ($ET_{ASCE,d}$)

A estimativa da ET_o horária e diária foi realizada com a equação de Penman-Monteith, apresentada pela *American Society of Civil Engineers (ASCE-EWRI, 2005; Equação 4.1)*, utilizando cultura de porte baixo, com 12 cm (APÊNDICE 3):

$$ET_{oASCE} = \frac{(0,408 \cdot \Delta \cdot (Rn - G) + \gamma \cdot \frac{Cn}{(T + 273)} \cdot u_2 \cdot (es - ea))}{\Delta + \gamma \cdot (1 + Cd \cdot u_2)} \quad (4.1)$$

Sendo: ET_{oASCE} – evapotranspiração de referência padronizada para cultura (mm h^{-1} ou mm dia^{-1}); Δ – declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); Rn – saldo de radiação ou radiação líquida na superfície ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); G – balanço do fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); γ – constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); T – temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$); u_2 – velocidade do vento a dois metros de altura ($\text{m s}^{-1} \text{h}^{-1}$ ou $\text{m s}^{-1} \text{dia}^{-1}$); es – pressão de saturação de vapor (kPa h^{-1} ou kPa dia^{-1}); ea – pressão atual do vapor (kPa h^{-1} ou kPa dia^{-1}); Cn e Cd – constantes relacionadas à superfície de referência e intervalo de tempo adotado (para plantas de porte baixo, como a grama: $Cn_{\text{horário}} = 37 \text{ K mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para periodicidade horária e $Cn_{\text{diário}} = 900 \text{ K mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para periodicidade diária; e, $Cd_{\text{diurno}} = 0,24 \text{ s m}^{-1}$ no período diurno, $Cd_{\text{noturno}} = 0,96 \text{ s m}^{-1}$ no período noturno e $Cd_{\text{diário}} = 0,34 \text{ s m}^{-1}$ no período diário).

b) Modelo Moretti-Jerszurki-Silva-Ajustado

Conforme os resultados e constatações verificadas no Capítulo III, optou-se nas análises por utilizar o modelo Moretti-Jerszurki-Silva (MJS) linear, nas periodicidades diária ($ET_{oMJS(\Psi_{ar})L,d}$; Equação 4.2) e horária ($ET_{oMJS(\Psi_{ar})La,h}$; Equação 4.3), que utiliza apenas o potencial hídrico (Ψ_{ar}), devido à necessidade de contabilização dos valores de ET_o noturnos (Jerszurki et al., 2017; Santos et al., 2021b). Para periodicidade horária, também foi considerado o descompasso verificado entre os modelos $ASCE-PM$ e MJS ($ET_{oMJS(\Psi_{ar})La,h}$), em que o “a” da simbologia “ $ET_{oMJS(\Psi_{ar})La,h}$ ” significa o “ajuste” realizado no Capítulo III.

i) Para estimativa da ETo na periodicidade diária ($ETo_{MJS(\Psi_{ar})L.d}$), os valores do potencial hídrico atmosférico foram obtidos com as equações:

$$ETo_{MJS(\Psi_{ar})L.d} = a + b \cdot \Psi_{ar.d} \quad (4.2)$$

$$\Psi_{ar.d} = \frac{R \cdot T_{méd}}{M_v} \cdot \ln \left(\frac{ea_{méd.p}}{es_{méd.p}} \right) \quad (4.2a)$$

Sendo: $ETo_{MJS(\Psi_{ar})L.d}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo MJS linear na periodicidade diária (mm dia^{-1}); “ a ” e “ b ” – coeficientes linear e angular, respectivamente, obtidos nas associações entre “ Ψ_{ar} vs ETo_{ASCE} ” na calibração, na periodicidade diária (“ a ” em mm dia^{-1} e “ b ” em $\text{mm dia}^{-1} \text{MPa}^{-1}$); $\Psi_{ar.d}$ – potencial hídrico atmosférico do d -ésimo dia (MPa); R – Constante universal dos gases perfeitos ($8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$); $T_{méd}$ – temperatura média diária do ar (K); M_v – Massa molar da água ($18 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$); $ea_{méd.p}$ e $es_{méd.p}$ – média das pressões atual e de saturação de vapor, conforme o tipo climático, respectivamente (MPa ; ASCE-EWRI, 2005; APÊNDICE 3).

ii) Para estimativa da ETo na periodicidade horária ($ETo_{MJS(\Psi_{ar})L.h}$), os valores horários do potencial hídrico atmosférico foram obtidos com as equações:

$$ETo_{MJS(\Psi_{ar})L.h} = a + b \cdot \Psi_{ar(h \pm d)} \quad (4.3)$$

$$\Psi_{ar(h \pm d)} = \frac{R \cdot T_{(h \pm d)}}{M_v} \cdot \ln \left(\frac{ea_{méd.p(h \pm d)}}{es_{méd.p(h \pm d)}} \right) \quad (4.3a)$$

Sendo: $ETo_{MJS(\Psi_{ar})L.h}$ – Evapotranspiração de referência estimada com o modelo MJS linear da h -ésima hora, tendo como entrada o potencial hídrico atmosférico “ $h \pm d$ ”-ésima hora, conforme o descompasso d (mm h^{-1}); “ a ” e “ b ” – coeficientes linear e angular, respectivamente, obtidos nas associações entre “ Ψ_{ar} vs ETo_{ASCE} ” na calibração, na periodicidade horária (“ a ” em mm dia^{-1} e “ b ” em $\text{mm dia}^{-1} \text{MPa}^{-1}$); $\Psi_{ar(h \pm d)}$ – potencial hídrico atmosférico da “ $h \pm d$ ”-ésima hora, conforme o descompasso d (MPa); R – Constante universal dos gases perfeitos ($8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$); $T_{(h \pm d)}$ – temperatura média do ar da “ $h \pm d$ ”-ésima hora, com descompasso d (K); M_v – Massa molar da água ($18 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$); $ea_{méd.p(h \pm d)}$ e $es_{méd.p(h \pm d)}$ – média das pressões atual e de saturação de vapor da “ $h \pm d$ ”-ésima hora, com descompasso d , respectivamente

(MPa; estimadas conforme *American Society of Civil Engineers*; ASCE-EWRI, 2005; APÊNDICE 3).

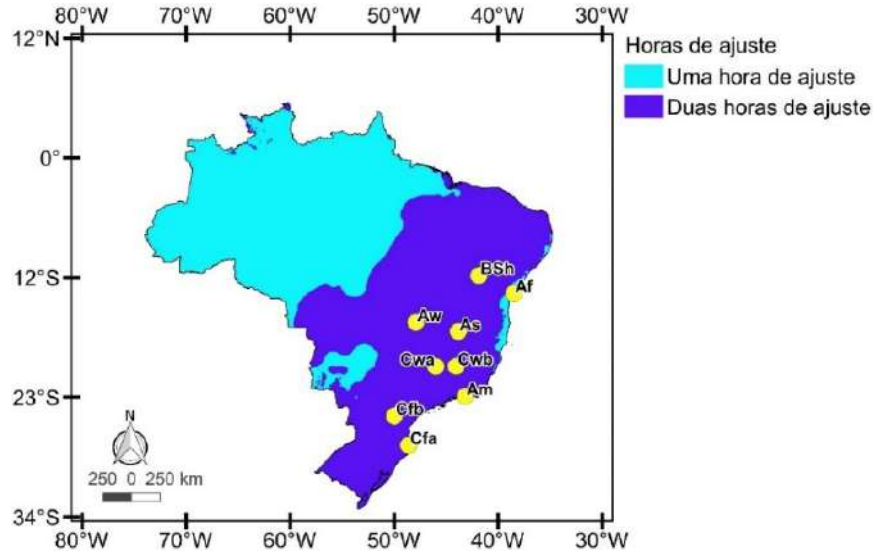
No presente Capítulo IV, não foi realizado o processo de calibração (Jerszurki et al., 2017) dos coeficientes “*a*” e “*b*” do modelo *MJS* para as estações meteorológicas especificadas. Para periodicidade horária, foram utilizados os coeficientes calibrados no Capítulo III (TABELA 3.1), e para a periodicidade diária foram utilizados os coeficientes estabelecidos por Jerszurki (2016), conforme o tipo climático. Os coeficientes “*a*” e “*b*” utilizados nas análises encontram-se na TABELA 4.2. Para o processo de validação realizou-se associações entre as séries de *ET_o* estimadas com os modelos “*MJS (ET_{oMJS}(ψ_{ar})) vs ASCE (ET_{oASCE})*”.

TABELA 4.2 – COEFICIENTES LINEARES (“*a*”) E ANGULARES (“*b*”), DO MODELO MORETTI-JERSZURK-SILVA, PARA PERIODICIDADE HORÁRIA E DIÁRIA, UTILIZADOS NAS ANÁLISES DOS CLIMAS PREDOMINANTES BRASILEIROS.

Climas	----- Coeficientes horários -----		----- Coeficientes diários -----	
	“ <i>a</i> ” (mm h ⁻¹)	“ <i>b</i> ” (mm h ⁻¹ MPa ⁻¹)	“ <i>a</i> ” (mm dia ⁻¹)	“ <i>b</i> ” (mm dia ⁻¹ MPa ⁻¹)
<i>Af</i>	– 5,32E–02	– 7,03E–08	2,3480	– 0,0490
<i>Am</i>	– 5,92E–02	– 6,67E–08	1,7909	– 0,0763
<i>As</i>	– 3,04E–03	– 4,45E–08	1,3984	– 0,0791
<i>Aw</i>	2,65E–02	– 3,14E–08	1,6551	– 0,0861
<i>BSh</i>	1,23E–02	– 3,25E–08	2,3421	– 0,0381
<i>Cfa</i>	– 1,33E–02	– 5,87E–08	0,7879	– 0,0607
<i>Cfb</i>	2,36E–02	– 4,82E–08	1,5826	– 0,0386
<i>Cwa</i>	1,66E–02	– 3,74E–08	2,6917	– 0,0192
<i>Cwb</i>	1,21E–02	– 4,06E–08	2,5592	– 0,0171

O descompasso horário do modelo *MJS* em relação ao *ASCE* foi identificado para cada tipo climático, conforme a disposição geográfica das estações meteorológicas (selecionadas para validação), no mapa estabelecido no Capítulo III (FIGURA 3.11). Desta forma, realizou-se ajuste de uma hora para o clima *Af* e duas horas para os climas *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* e *Cwb* (FIGURA 4.1).

FIGURA 4.1 – MAPA DO BRASIL, CONTENDO O TEMPO DE DESCOMPASSO VERIFICADO ENTRE OS VALORES DE ET_o ESTIMADAS COM OS MODELOS MJS E $ASCE-PM$, E ESPACIALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS PARA A VALIDAÇÃO DOS MODELOS TESTADOS.



Fonte: O autor (2024).

c) Modelo Penman-Monteith-Reduzido

A estimativa da ET_o com o modelo Penman-Monteith-Reduzido (PMR), na periodicidade horária e ($ET_{oPMR,h}$) e diária ($ET_{oPMR,d}$), foi realizada baseando-se na equação de Penman-Monteith, apresentada por *American Society of Civil Engineers* (ASCE-EWRI, 2005), utilizando cultura de porte baixo, com 12 cm de altura (APÊNDICE 3). Nos cálculos, considerou-se que apenas a temperatura do ar apresentou variação. As demais variáveis foram consideradas iguais à média geral (para cada dia ou hora do dia), conforme o tipo climático (Equação 4.4). Considerando que a declinação da curva de pressão de saturação do vapor (Δ) é calculada com valores de temperatura, optou-se por estimar normalmente esta variável conforme recomendado por ASCE-EWRI (2005) (Equação 4.4a).

$$ET_{oPMR} = \frac{(0,408 \cdot \Delta \cdot (Rn_{méd.p} - G) + \gamma \cdot \frac{c_n}{(T_{méd} + 273)} \cdot u_{2média.p} \cdot (eS_{méd.p} - ea_{méd.p}))}{\Delta + \gamma \cdot (1 + Cd \cdot u_{2méd.p})} \quad (4.4)$$

$$\Delta = \frac{2503 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T_{méd}}{T_{méd} + 237,3}\right)}{(T_{méd} + 237,3)^2} \quad (4.4a)$$

Sendo: $ET_{oPMR,h}$ e $ET_{oPMR,d}$ – Evapotranspiração de referência horária e diária estimada com o método Penman-Monteith-Reduzido, respectivamente (mm h^{-1} ou mm

dia⁻¹); Δ – declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar (kPa °C⁻¹); $Rn_{méd,p}$ – média do saldo de radiação do período, para cada hora ou dia (MJ m⁻² h⁻¹ ou MJ m⁻² dia⁻¹); G – balanço do fluxo de calor no solo (MJ m⁻² h⁻¹ ou MJ m⁻² dia⁻¹); γ – constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); $T_{méd}$ – temperatura média do ar (°C); $u_{2méd,p}$ – média da velocidade do vento a dois metros de altura no período, para cada hora ou dia (m s⁻¹ h⁻¹ ou m s⁻¹ dia⁻¹); $ea_{méd,p}$ e $es_{méd,p}$ – média das pressões atual e de saturação de vapor do período, para cada hora ou dia, conforme o tipo climático (MPa h⁻¹ ou MPa dia⁻¹; ASCE-EWRI, 2005; APÊNDICE 3); C_n e C_d – constantes relacionadas à superfície de referência e intervalo de tempo adotado (para plantas de porte baixo, como a grama: $C_{n\text{horária}} = 37 \text{ K mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para periodicidade horária e $C_{n\text{diária}} = 900 \text{ K mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para periodicidade diária; e, $C_{d\text{diurno}} = 0,24 \text{ s m}^{-1}$ para periodicidade horária diurna, $C_{d\text{noturno}} = 0,96 \text{ s m}^{-1}$ para periodicidade horária noturna e $C_{d\text{diária}} = 0,34 \text{ s m}^{-1}$ para periodicidade diária).

d) Modelo Turc

O modelo original de Turc (1961) considera como entrada as variáveis temperatura média ($T_{méd}$) e radiação solar incidente (Rs), para estimar a ET_o na periodicidade mensal. No entanto, Fisher e Pringle (2013) realizaram uma modificação que permitiu a estimativa da ET_o diária (Equação 4.5; $ET_{oT.d}$), dividindo o coeficiente 0,40 da equação Turc (1961) por 30, obtendo-se o coeficiente 0,013.

No presente Capítulo IV, para a obtenção da estimativa da ET_o horária, realizou-se procedimento semelhante ao de Fisher e Pringle (2013), dividindo-se o coeficiente 0,013 por 24 (correspondente às horas do dia), resultando no coeficiente 0,00055. O coeficiente 23,88 também foi multiplicado por 24, resultando no valor 573,12. Os coeficientes foram utilizados na Equação 4.5a, e a equação foi denominada Turc-Ajustado ($ET_{oTa.h}$). Nas Equações 4.5 e 4.5a apenas a $T_{méd}$ teve variação horária ou diária. A radiação solar diária ou horária ($Rs_{méd,p}$) foi considerada igual à média verificada no período, para o tipo climático analisado.

$$ET_{oT.d} = 0,013 \cdot \left(\frac{T_{méd}}{T_{méd} + 15} \right) \cdot (23,88 \cdot Rs_{méd,p} + 50) \quad (4.5)$$

$$ET_{oTa.h} = 0,00055 \cdot \left(\frac{T_{méd}}{T_{méd} + 15} \right) \cdot (573,12 \cdot Rs_{méd,p} + 50) \quad (4.5a)$$

Sendo: $ETo_{T.d}$ e $ETo_{Ta.h}$ – Evapotranspiração de referência diária e horária, respectivamente (mm dia^{-1} ou mm h^{-1}); $T_{\text{méd}}$ – temperatura média do dia ou hora ($^{\circ}\text{C}$); $Rs_{\text{méd.p}}$ – Média da radiação solar incidente, da periodicidade diária ou horária do período ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$).

e) Cenário: ETo diária obtida do somatório das ETo horárias

As estimativas horárias (24 horas do dia) da ETo com os modelos $PMR.h$, $MJSa.h$ e $Ta.h$ foram somadas, obtendo-se os valores diários da ETo . A intenção foi verificar se ocorreu melhorias na estimativa da ETo diária, visto que essa é uma afirmativa frequente disposta na literatura. Os somatórios para a obtenção da série de valores diários da ETo com os modelos adaptados/reduzidos (denominados: $PMR.d_{24}$ – Penman-Monteith-Reduzido; $MJSa.d_{24}$ – Moretti-Jerszurki-Silva; e, $Ta.d_{24}$ – Turc) foram feitos para o período entre 01/01/2019 e 31/12/2020.

4.4.3 Módulo utilizado e dados meteorológicos para estimativa da ETo

As ETo horárias e diárias foram calculadas em planilha eletrônica, com o módulo “Estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) horária e diária com modelos padrão (ASCE) e alternativos” ($Módulo_{ETo.h-d}$). O módulo encontra-se descrito no Capítulo II (Item 2.5.2).

Para a estimativa da ETo horária e diária com os modelos ASCE e adaptados/reduzidos (Penman-Monteith-Reduzido, Moretti-Jerszurki-Silva e Turc) foram necessários os seguintes dados climáticos na periodicidade horária (APÊNDICE 3): temperaturas máxima, mínima e média do ar ($T_{\text{máx}}$, $T_{\text{mín}}$, $T_{\text{méd}}$; $^{\circ}\text{C}$); umidade relativa máxima, mínima e média do ar ($UR_{\text{máx}}$, $UR_{\text{mín}}$, $UR_{\text{méd}}$; %), radiação solar incidente (Rs ; $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); e velocidade do vento à 2 m de altura (u_2 ; m s^{-1}). Os dados climáticos diários de $UR_{\text{máx}}$, $UR_{\text{mín}}$, $UR_{\text{méd}}$, $T_{\text{máx}}$, $T_{\text{mín}}$, $T_{\text{méd}}$ e u_2 foram obtidos fazendo-se a média das medidas horárias nas 24 horas do dia, de cada variável climática. A Rs diária foi obtida fazendo-se o somatório das medidas verificadas nas 24 horas do dia.

As médias horárias ou diárias das variáveis analisadas ($UR_{\text{méd}}$, $u_{2\text{méd}}$, $Rs_{\text{méd}}$, $T_{\text{máx}}$, $T_{\text{mín}}$ e $T_{\text{méd}}$) foram avaliadas quanto às suas tendências centrais, para cada tipo climático brasileiro (Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa e Cwb). As análises foram

realizadas no *software* R (RStudio Team, 2023; versão 4.2.3), pacote “ggplot2” (Wickham et al., 2022). Os valores de Rn , ea e es foram obtidas conforme as metodologias dispostas no APÊNDICE 3, que consideraram $UR_{méd}$, $Rs_{méd}$ e temperatura. Por esse motivo, suas tendências centrais não foram analisadas individualmente.

Após a verificação da qualidade dos dados, foram estabelecidas as médias horária e diária das variáveis analisadas, por estação do ano, conforme o tipo climático brasileiro, sendo identificadas no presente Capítulo IV como: $UR_{méd.p}$ – média da umidade relativa do ar; $Rs_{méd.p}$ – média da radiação solar incidente; $Rn_{méd.p}$ – média do saldo de radiação; $U_{2méd.p}$ – média da velocidade do vento a dois metros de altura; $es_{méd.p}$ – média da pressão de saturação de vapor; e, $ea_{méd.p}$ – média da pressão atual de vapor. As médias foram obtidos considerando o período entre 01/01/2017 a 31/12/2018. Na periodicidade diária, para as estações do ano, foram considerados os seguintes períodos: Verão entre 21 de dezembro e 20 de março; Outono entre 21 de março e 20 de junho; Inverno entre 21 de junho e 22 de setembro; e, Primavera entre 23 de setembro e 20 de dezembro.

4.4.4 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas para o período entre 01/01/2019 e 31/12/2020, e consistiram em verificar as associações lineares entre as respectivas evapotranspirações de referência, diária (d) e horária (h), obtidas com os modelos da *American Society of Civil Engineers* ($ET_{ASCE.d}$ e $ET_{ASCE.h}$), considerado padrão, e adaptados/reduzidos: Penman-Monteith-Reduzido ($ET_{PMR.d}$, $ET_{PMR.d24}$ e $ET_{PMR.h}$); Moretti-Jerszurki-Silva ($ET_{MJS(\Psi_{ar})L.d}$, $ET_{MJS(\Psi_{ar})L.d24}$ e $ET_{MJS(\Psi_{ar})La.h}$) e Turc ($ET_{T.d}$, $ET_{T.d24}$ e $ET_{Ta.h}$). Assim, teve-se as associações “ $ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{PMR.d}$ ”, “ $ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{MJS(\Psi_{ar})L.d}$ ”, “ $ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{T.d}$ ”, “ $ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{PMR.d24}$ ”, “ $ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{MJS(\Psi_{ar})L.d24}$ ” e “ $ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{T.d24}$ ” para periodicidade diária, e “ $ET_{ASCE.h}$ vs $ET_{PMR.h}$ ”, “ $ET_{ASCE.h}$ vs $ET_{MJS(\Psi_{ar})La.h}$ ” e “ $ET_{ASCE.h}$ vs $ET_{Ta.h}$ ” para a periodicidade horária.

Nas análises de validação foram considerados os indicadores: raiz quadrada do erro quadrado médio ($RMSE$; mm h^{-1} ou mm dia^{-1}); coeficiente de correlação (r ; adimensional); e, eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE ; adimensional) (Tegos et al., 2017;

Paredes et al., 2020; Paredes et al., 2021; Santos et al., 2021b; Souza et al., 2021; Rosa, 2023). Os cálculos foram realizados com o pacote “*hydroGOF*”, versão 0.04 (Zambrano-Bigiarini, 2020) e sua função “*GOF*”, no software R (RStudio Team, 2023; versão 4.2.3).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (ET_{o_{p_i}} - ET_{o_{a_i}})^2}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(ET_{o_{p_i}} - \overline{ET}_{o_p}) \cdot (ET_{o_{a_i}} - \overline{ET}_{o_a})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (ET_{o_{p_i}} - \overline{ET}_{o_p})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (ET_{o_{a_i}} - \overline{ET}_{o_a})^2}}$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (ET_{o_{p_i}} - ET_{o_{a_i}})^2}{\sum_{i=1}^n (ET_{o_{p_i}} - \overline{ET}_{o_p})^2}$$

Sendo: *RMSE* – Raiz quadrada do erro quadrático médio (mm h⁻¹ ou mm dia⁻¹); *r* – coeficiente de correlação de Pearson (adimensional); *NSE* – eficiência de Nash-Sutcliffe (adimensional); *n* – número de horas ou dias analisados, sendo o tamanho da amostra (adimensional); *ET*_{*o_{p_i}*} – evapotranspiração de referência estimada com o método *ASCE-PM* padrão na *i*-ésima periodicidade desejada (mm h⁻¹ ou mm dia⁻¹); *ET*_{*o_{a_i}*} – evapotranspiração de referência estimada com o método alternativo na *i*-ésima periodicidade desejada (mm h⁻¹ ou mm dia⁻¹); $\overline{ET}_{o_p}$ – média da evapotranspiração de referência estimada com o método *ASCE-PM* padrão (mm h⁻¹ ou mm dia⁻¹); $\overline{ET}_{o_a}$ – média da evapotranspiração de referência estimada com o método alternativo (mm h⁻¹ ou mm dia⁻¹).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

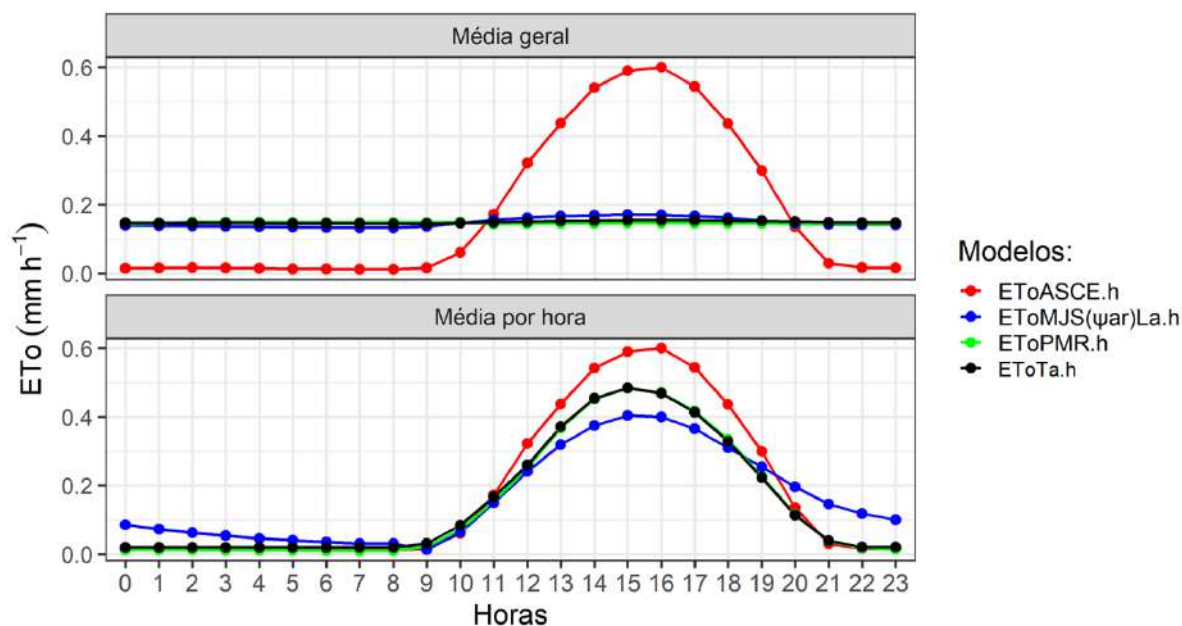
4.5.1 Entrada dos dados climáticos nos modelos testados: médias horárias ou diárias

Dois procedimentos foram considerados para a entrada das “variáveis” (valores médios) nos modelos adaptados/reduzidos testados, para a periodicidade horária. Um procedimento considerou a entrada de um único valor médio para cada “variável” do modelo, enquanto o outro considerou o valor médio de cada hora do dia. Nos testes

realizados, constatou-se que a entrada de valores médios das “variáveis” para cada hora resultou na melhor alternativa. A utilização de valores médios, únicos para cada “variável” de entrada nos modelos testados, impossibilitaram a variação natural das magnitudes das variáveis climáticas e consequentemente da ET_o ao longo do dia. Assim, os modelos que necessitam de poucas variáveis de entrada tornaram-se inviáveis (como nos modelos adaptados/reduzidos testados), pois não conseguem reproduzir as magnitudes da ET_o ao longo das 24 horas do dia.

O contexto apresentado no parágrafo anterior pode ser verificado no Cenário da estação meteorológica de Salvador (FIGURA 4.2), localizada no tipo climático *Af*. Somente a variação da temperatura não foi suficiente para estimar adequadamente a magnitude da ET_o ao longo das horas do dia, considerando a(s) média(s) da(s) “variável(is)” de entrada dos modelos testados: Penman-Monteith-Reduzido ($ET_{oPMR.h}$; UR , Rn , u_2 , ea e es), Moretti-Jerszurki-Silva ($ET_{oMJS(\psi_{ar})La.h}$) e Turc-Ajustado ($ET_{oTa.h}$).

FIGURA 4.2 – ET_o HORÁRIA ESTIMADA COM OS MODELOS DA AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS ($ET_{oASCE.h}$), PENMAN-MONTEITH-REDUZIDO ($ET_{oPMR.h}$), MORETTI-JERSZURKI-SILVA ($ET_{oMJS(\psi_{ar})La.h}$) E TURC-AJUSTADO ($ET_{oTa.h}$), SENDO: MÉDIA GERAL – ET_o ESTIMADA COM UM ÚNICO VALOR MÉDIO DIÁRIO, PARA CADA VARIÁVEL CLIMÁTICA DE ENTRADA; MÉDIA POR HORA – ET_o ESTIMADA COM VALORES MÉDIOS PARA CADA HORA DO DIA, PARA CADA VARIÁVEL CLIMÁTICA DE ENTRADA.



Fonte: O autor (2024).

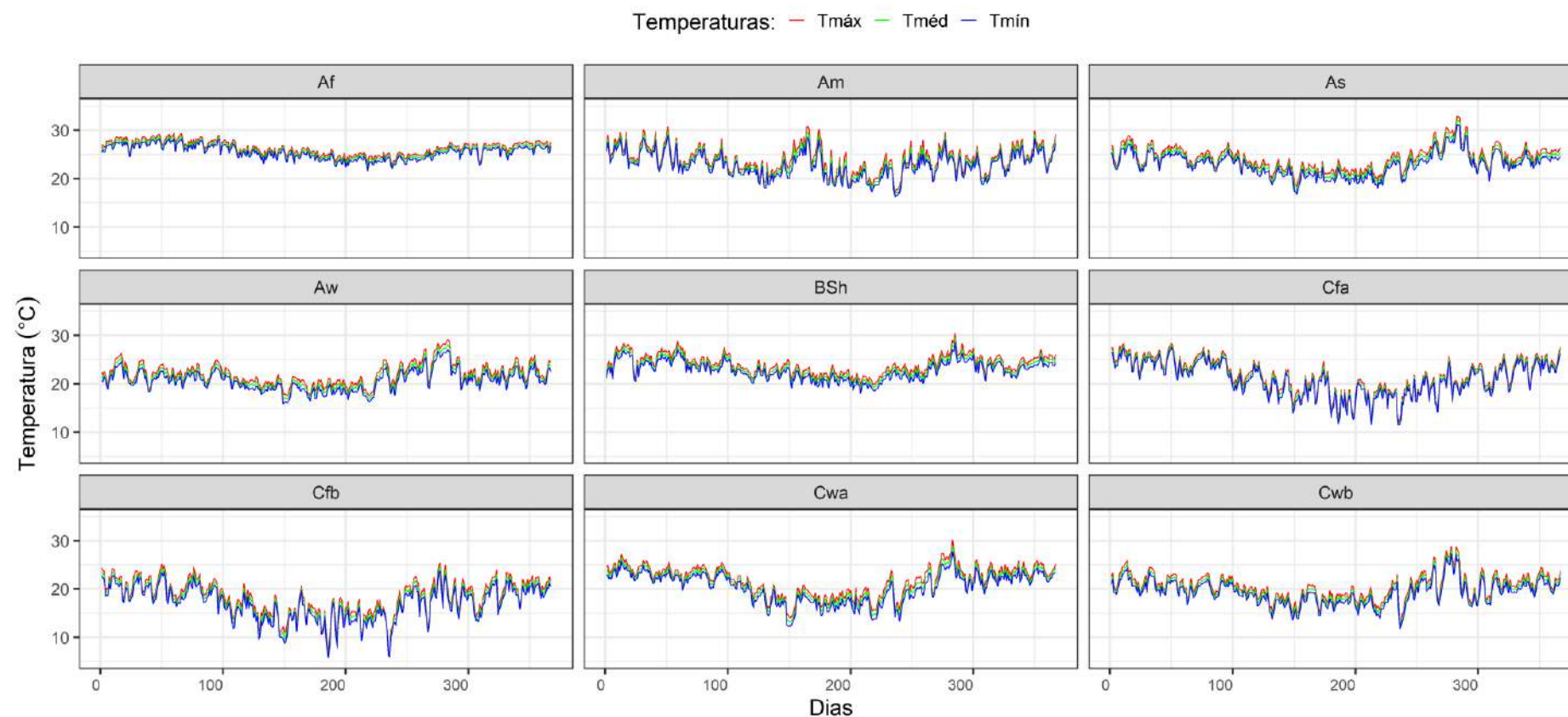
4.5.2 Análise das médias das variáveis meteorológicas, conforme os climas brasileiros

A representatividade das séries de dados meteorológicos utilizadas é essencial quando modelos de estimativa da ET_o consideram valores médios para parte das “variáveis” de entrada. Logo, analisar e comparar a magnitude dos valores médios obtidos com os de estudados correlatos é fundamental, para que a média distorcida não prejudique de início as análises com os modelos adaptados/reduzidos testados.

Normalmente, a literatura realiza comparações das variáveis meteorológicas do local de estudo com as Normais Climatológicas, do Departamento Nacional de Meteorologia do Brasil (DNMET, 1992), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As Normais climatológicas resultam da média mensal para as variáveis meteorológicas de uma série de dados de 30 anos. As Normais são consideradas fonte confiável e muito utilizada para comparações de tendências centrais (Santos et al., 2021c). Contudo, dados de velocidade do vento não estão disponíveis, bem como as médias mensais podem ser utilizadas em comparações apenas com dados diários (realizando-se uma média mensal dos dados diários), pois não há Normais para periodicidades horárias. Neste contexto, optou-se no presente Capítulo IV por realizar comparações das variáveis climáticas analisadas com outros estudos, verificando-se as magnitudes e diferenças de valores ao longo dos dias e horas.

Na FIGURA 4.3 encontra-se as médias diárias das temperaturas máximas, mínimas e médias ao longo do ano, utilizadas na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) diária, para os tipos climáticos brasileiros analisados (*Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* e *Cwb*). Jerszurki et al. (2017) analisando o modelo Moretti-Jerszurki-Silva para os mesmos climas do presente Capítulo IV, verificaram nos climas *Cfa* e *Cfb* temperaturas predominantemente abaixo de 25 °C, e as temperaturas mínimas mais baixas (inferiores à 15 °C). O clima *Af* apresentou temperatura predominantemente acima de 25 °C. Na FIGURA 4.3 pode-se verificar que houve a mesma tendência central para os dados utilizados no presente estudo, nos climas *Cfa*, *Cfb* e *Af*.

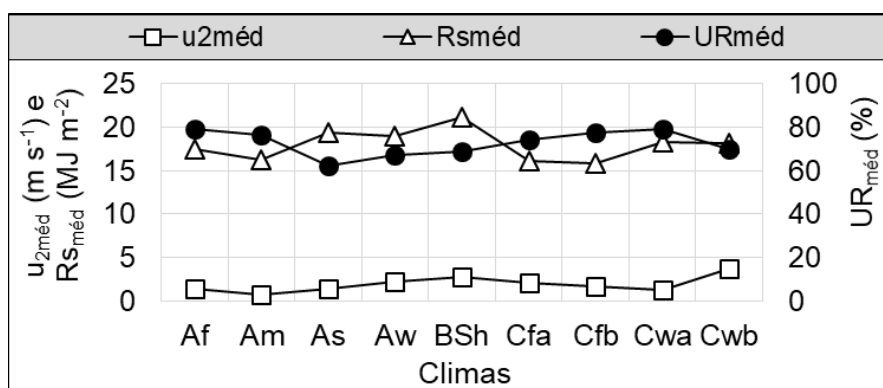
FIGURA 4.3 – MÉDIAS DIÁRIAS DA TEMPERATURA MÁXIMA ($T_{máx}$), MÍNIMA ($T_{mín}$) E MÉDIA ($T_{méd}$) AO LONGO DO ANO, OBTIDAS ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa e Cwb), QUE SERVIRAM DE ENTRADA PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) DIÁRIA COM OS MÉTODOS PADRÃO E ADAPTADOS/REDUZIDOS TESTADOS.



Fonte: O autor (2024).

Na FIGURA 4.4 encontram-se as médias diárias da u_{2med} , Rs_{med} e UR_{med} , do período entre 01/01/2017 e 31/12/2020, para cada tipo climático brasileiro (Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa e Cwb). As médias das variáveis e tipos climáticos serviram de entrada para a estimativa da ETo com os modelos da *American Society of Civil Engineers* ($ETo_{ASCE.d}$) e adaptados/reduzidos: Penman-Monteith-Reduzido ($ETo_{PMR.d}$); Moretti-Jerszurki-Silva ($ETo_{MJS(\Psi ar)L.d}$); e, Turc ($ETo_{T.d}$).

FIGURA 4.4 – MÉDIAS DIÁRIAS DA VELOCIDADE DO VENTO (u_{2med}), RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (Rs_{med}) E UMIDADE RELATIVA (UR_{med}), OBTIDAS ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa e Cwb), QUE SERVIRAM DE ENTRADA PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ETo) DIÁRIA COM OS MÉTODOS PADRÃO E ADAPTADOS/REDUZIDOS TESTADOS.

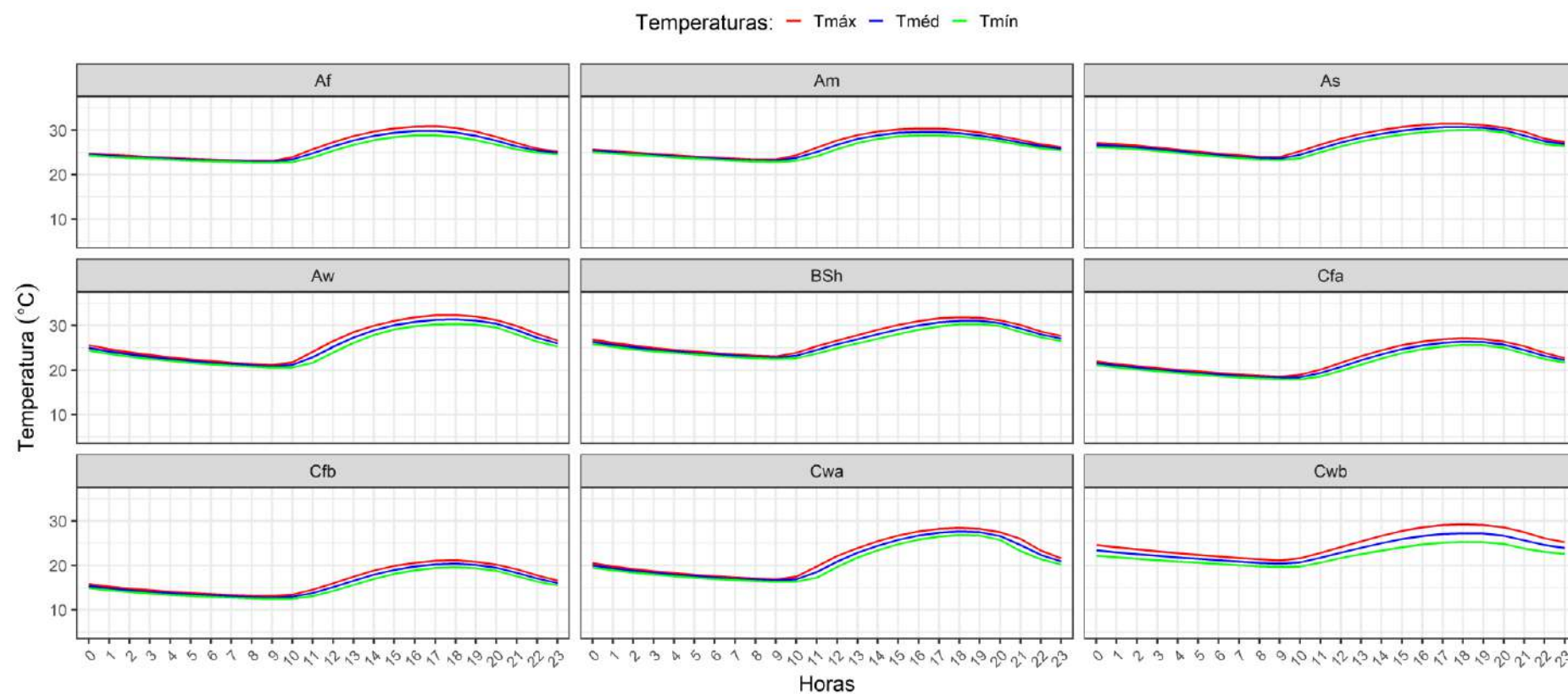


Fonte: O autor (2024).

Jerszurki et al. (2017) verificaram para os climas brasileiros u_2 entre 0,5 e 4,0 m s⁻¹ dia⁻¹, Rs entre 17 a 22 MJ m⁻² dia⁻¹ e UR entre 55 a 80%. No presente estudo verificou-se valores similares, com u_{2med} entre 0,5 a 4,0 m s⁻¹ dia⁻¹, Rs_{med} entre 15 a 22 MJ m⁻² dia⁻¹ e UR_{med} entre 60 e 80%. As similaridades são importantes, pois indicam consistência e qualidade do banco de dados utilizado. É importante observar também, que os climas utilizados por Jerszurki et al. (2017) foram os mesmos utilizados no presente Capítulo IV, mas as localidades e período analisado foram diferentes, reafirmando a qualidade das médias obtidas.

Na FIGURA 4.5 encontram-se as médias das temperaturas máxima, mínima e média horárias (entre 00:00 e 23:00 h), obtida no período entre 01/01/2017 e 31/12/2020, para cada tipo climático brasileiro (Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa e Cwb). As médias das variáveis e tipos climáticos serviram de entrada para a estimativa da ETo horária.

FIGURA 4.5 – MÉDIAS HORÁRIAS DAS TEMPERATURAS MÁXIMA ($T_{máx}$), MÍNIMA ($T_{mín}$) E MÉDIA ($T_{méd}$), OBTIDAS ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (*Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* e *Cwb*), QUE SERVIRAM DE ENTRADA PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) HORÁRIA COM OS MÉTODOS PADRÃO E ADAPTADOS/REDUZIDOS TESTADOS.



Fonte: O autor (2024).

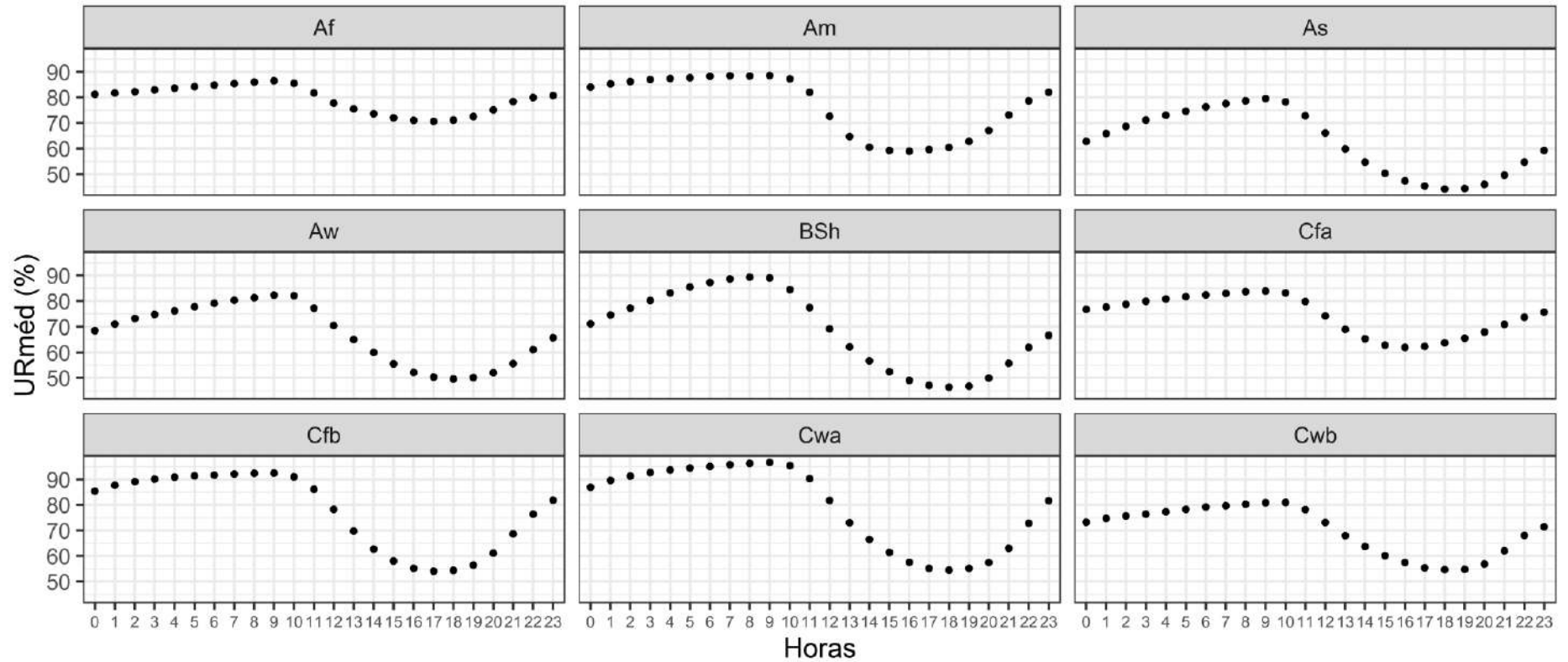
As tendências centrais das variáveis climáticas nas 24 horas do dia são importantes, pois influenciam a magnitude ET_o . Contudo, a literatura tem poucos estudos caracterizando a tendência central horária das principais variáveis climáticas dos tipos climáticos brasileiros, que foram utilizados no presente Capítulo IV para estimar a ET_o . Além disso, os poucos estudos existentes não abrangeram todos os tipos climáticos brasileiros, sendo feitos para poucas localidades. Santos et al. (2021a), analisando os climas Cfa e Cfb , verificaram aumento acentuado da T_{med} entre 14:00 e 16:00 h, picos ocorrendo entre 14:00 e 16:00 h e queda acentuada dos valores entre 16:00 e 23:00 h. De forma geral, essa tendência central também foi observada para a maioria dos climas analisados no presente Capítulo IV (FIGURA 4.5).

Na FIGURA 4.6 encontra-se as médias da $UR_{med.p}$ horária, obtida no período entre 01/01/2017 e 31/12/2020, para cada tipo climático brasileiro (Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa e Cwb). A tendência central da $UR_{med.p}$ é sempre inversa à temperatura, apresentando valores entre 80 e 90% entre as 0 e 10 h, e entre 80 e 45% entre as 10 e 23 h. As mesmas tendências centrais foram verificadas no estudo de Santos et al. (2021a), para os climas Cfa e Cfb .

A $u_{2med.p}$ média (FIGURA 4.7) apresentou valores entre 0 e 5 m s⁻¹. No estudo de Santos et al. (2021a) a u_2 ficou entre 0 e 2 m s⁻¹. Contudo, a velocidade do vento varia muito conforme as regiões brasileiras. No estudo de Santos et al. (2021a) foram consideradas apenas estações em climas Cfa e Cfb , localizadas em regiões temperadas. Siefert et al. (2021) estudando séries de velocidade do vento no Brasil, verificaram nas regiões temperadas médias de velocidade do vento entre 0 e 2,5 m s⁻¹. Na região Tropical Nordeste Oriental os autores verificaram média de velocidade do vento entre 0 e 4 m s⁻¹. O resultado pode ser um dos fatores responsáveis pela maior amplitude das médias observadas na FIGURA 4.7. Conforme os autores, as velocidades do vento acima de 5 m s⁻¹ pode ser resultado de medições instantâneas em rajadas de vento, comum nos casos de valores horários de medição.

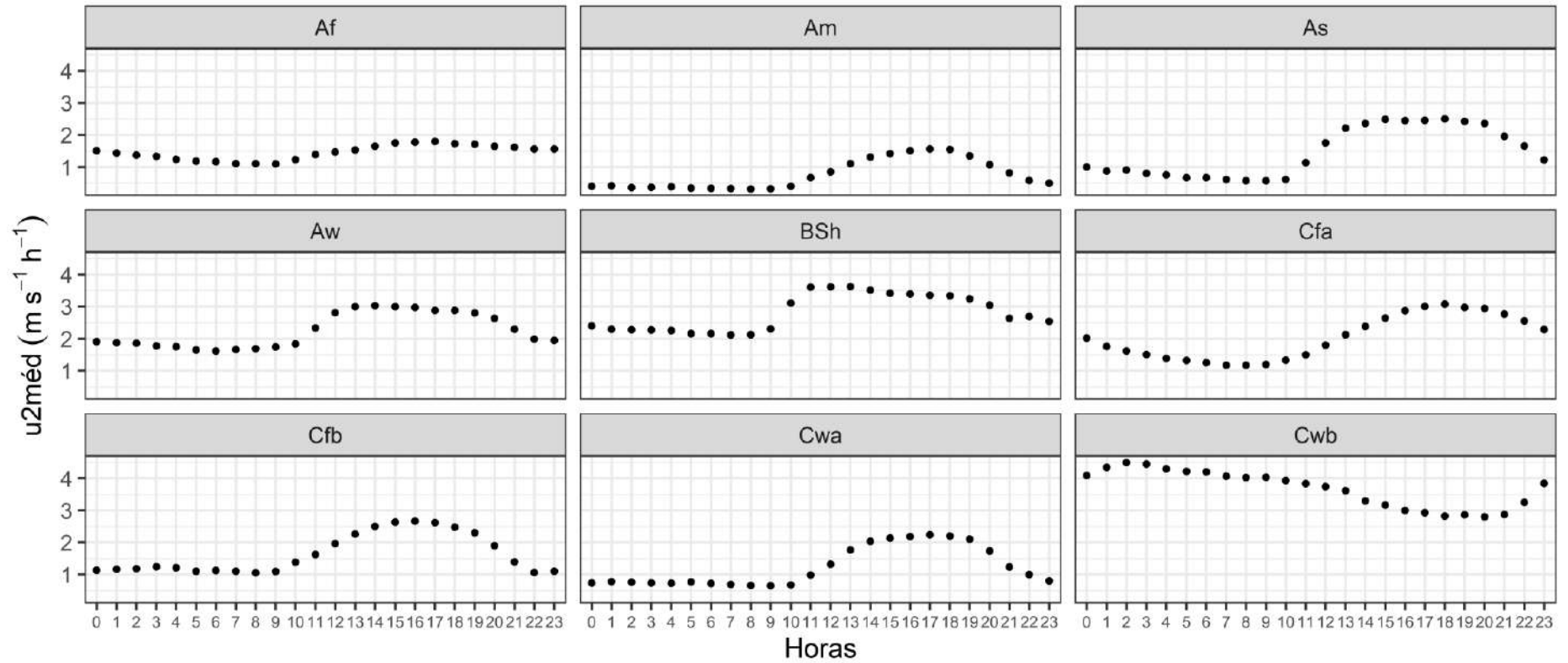
A Rs_{med} média (FIGURA 4.8) apresentou os maiores valores entre 14:00 e 16:00 h, tendo tendência central direta com as temperaturas e inversa com a UR_{med} , tendências centrais também verificadas por Santos et al. (2021a).

FIGURA 4.6 – MÉDIAS HORÁRIAS DA UMIDADE RELATIVA DO AR ($UR_{méd}$), OBTIDAS ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa e Cwb), QUE SERVIRAM DE ENTRADA PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) HORÁRIA COM OS MÉTODOS PADRÃO E ADAPTADOS/REDUZIDOS TESTADOS.



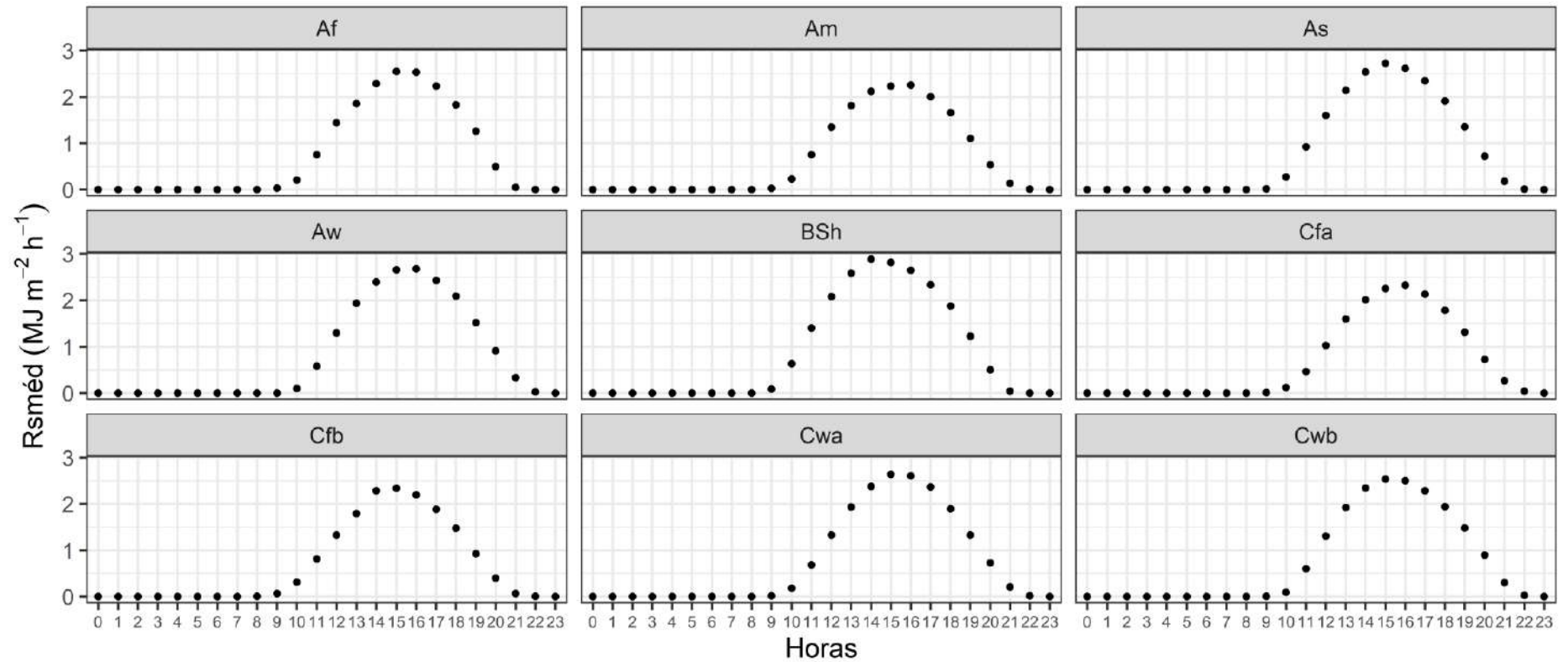
Fonte: O autor (2024).

FIGURA 4.7 – MÉDIAS HORÁRIAS DA VELOCIDADE DO VENTO (u_2), OBTIDAS ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (*Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* e *Cwb*), QUE SERVIRAM DE ENTRADA PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (E_{To}) HORÁRIA COM OS MÉTODOS PADRÃO E ADAPTADOS/REDUZIDOS TESTADOS.



Fonte: O autor (2024).

FIGURA 4.8 – MÉDIAS HORÁRIAS DA RADIAÇÃO INCIDENTE MÉDIA ($R_{s_{med}}$), OBTIDAS ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (*Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* e *Cwb*), QUE SERVIRAM DE ENTRADA PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (E_{To}) HORÁRIA COM OS MÉTODOS PADRÃO E ADAPTADOS/REDUZIDOS TESTADOS.



Fonte: O autor (2024).

De forma geral, as médias da u_{2med} e Rs_{med} (FIGURAS 4.7 e 4.8) apresentaram pequenas diferenças em relação às obtidas por Jerszurski et al. (2017) e Santos et al. (2021a). O motivo das pequenas diferenças deveu-se provavelmente às localidades e período de dados utilizados, que não foram exatamente os mesmos. Diante disso, acredita-se que as médias horárias das variáveis analisadas apresentaram tendências centrais consistentes para seus respectivos climas. Pode-se considerar que o banco de dados constituído, contendo a média das variáveis de interesse, representa bem o ambiente de cada clima brasileiro.

Na TABELA 4.4 encontra-se as médias horárias da $UR_{med.p}$, $Rs_{med.p}$, $Rn_{med.p}$, $u_{2med.p}$, $es_{med.p}$ e $ea_{med.p}$, e na TABELA 4.5 encontram-se as médias diárias destas variáveis, conforme as estações do ano, obtidas no período entre 01/01/2017 e 31/12/2018, para os tipos climáticos brasileiros (*Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* e *Cwb*). As médias serviram de entrada nos modelos testados para realizar a estimativa da ET_o na validação (01/01/2019 a 31/12/2020). A obtenção de médias de variáveis climáticas é importante, pois podem ser utilizadas em outros estudos da área, principalmente em pesquisas envolvendo estimativas de ET_o em locais remotos, apresentando problemas com a indisponibilidades de banco de dados ou grandes falhas nas séries (TABELA 4.4 e 4.5). Na presente tese, as médias horárias e diárias foram importantes para alimentar o banco de dados do *Módulo $_{ET_o.h-d}$* , conforme foi apresentado no Capítulo II.

TABELA 4.4 – MÉDIAS HORÁRIAS DA UMIDADE RELATIVA ($UR_{méd.p}$; %), RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE ($Rs_{méd.p}$; MJ m⁻²), SALDO DE RADIAÇÃO ($Rn_{méd.p}$; MJ m⁻²), VELOCIDADE DO VENTO ($u_{2méd.p}$; m s⁻¹), PRESSÃO ATUAL DE VAPOR ($ea_{méd.p}$; MPa) E PRESSÃO DE SATURAÇÃO DE VAPOR ($es_{méd.p}$; MPa), OBTIDAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2018, PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (*Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa e Cwb*), QUE SERVIRAM DE ENTRADA PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ETo) COM OS MÉTODOS PADRÃO E ADAPTADOS/REDUZIDOS TESTADOS.

Clima	Variável	Horas do dia																							
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
<i>Af</i>	$UR_{méd.p}$	85	87	88	90	91	91	92	92	93	93	92	86	78	71	66	62	60	60	62	65	69	75	80	83
	$Rs_{méd.p}$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,09	0,46	0,94	1,43	1,90	2,26	2,38	2,29	2,03	1,62	1,06	0,46	0,08	0,01	0,01
	$Rn_{méd.p}$	-0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,24	0,54	0,89	1,30	1,60	1,70	1,64	1,43	1,13	0,74	0,33	0,05	-0,02	-0,03
	$u_{2méd.p}$	1,59	1,39	1,20	1,07	1,00	0,95	0,91	0,86	0,83	0,88	1,34	1,87	2,15	2,35	2,51	2,69	2,88	3,06	3,16	3,13	2,69	2,18	1,95	1,77
	$ea_{méd.p}$	2,48	2,48	2,48	2,47	2,47	2,46	2,45	2,44	2,43	2,44	2,60	2,42	2,63	2,58	2,53	2,49	2,47	2,47	2,48	2,51	2,49	2,46	2,48	2,48
	$es_{méd.p}$	2,93	2,88	2,83	2,78	2,74	2,71	2,68	2,65	2,63	2,63	2,83	3,06	3,37	3,65	3,89	4,06	4,15	4,14	4,04	3,87	3,59	3,29	3,10	3,00
<i>Am</i>	$UR_{méd.p}$	82	84	85	86	87	88	89	90	90	90	89	84	77	71	67	64	63	63	63	65	68	72	76	80
	$Rs_{méd.p}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,18	0,64	1,20	1,68	2,05	2,31	2,35	2,18	1,80	1,26	0,65	0,19	0,01	0,00
	$Rn_{méd.p}$	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,02	0,19	0,59	1,06	1,49	1,81	2,00	1,97	1,78	1,50	1,06	0,57	0,15	-0,00	-0,01
	$u_{2méd.p}$	1,57	1,45	1,36	1,25	1,18	1,09	1,08	1,05	1,04	1,02	1,18	1,52	1,86	2,20	2,40	2,58	2,78	2,86	2,88	2,78	2,53	2,17	1,86	1,69
	$ea_{méd.p}$	2,67	2,68	2,68	2,68	2,67	2,65	2,64	2,62	2,60	2,61	2,64	2,65	2,65	2,62	2,59	2,56	2,55	2,53	2,53	2,53	2,58	2,60	2,63	2,66
	$es_{méd.p}$	3,28	3,21	3,15	3,10	3,06	3,01	2,97	2,92	2,89	2,89	2,99	3,21	3,49	3,78	3,97	4,11	4,16	4,17	4,10	3,99	3,85	3,66	3,48	3,37
<i>As</i>	$UR_{méd.p}$	67	68	70	72	74	76	77	78	79	80	77	71	66	61	58	55	54	53	52	53	55	59	63	65
	$Rs_{méd.p}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,51	1,26	1,97	2,54	2,93	3,00	2,79	2,47	1,98	1,13	0,46	0,05	0,00	0,00
	$Rn_{méd.p}$	-0,04	-0,03	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,02	0,34	0,88	1,43	1,88	2,19	2,28	2,18	1,92	1,53	0,94	0,39	0,01	-0,04	-0,04
	$u_{2méd.p}$	2,92	3,11	3,07	2,88	2,70	2,52	2,35	2,25	2,11	2,13	2,71	3,48	3,98	4,21	4,24	4,23	4,14	4,08	3,98	3,78	3,40	2,82	2,69	2,75
	$ea_{méd.p}$	2,46	2,46	2,46	2,47	2,47	2,47	2,46	2,45	2,44	2,44	2,48	2,49	2,47	2,44	2,41	2,39	2,36	2,34	2,32	2,31	2,31	2,36	2,43	2,46
	$es_{méd.p}$	3,48	3,45	3,39	3,31	3,22	3,14	3,06	2,99	2,93	2,92	3,08	3,34	3,61	3,84	4,04	4,20	4,32	4,40	4,42	4,39	4,26	3,96	3,65	3,52
<i>Aw</i>	$UR_{méd.p}$	68	71	74	76	78	80	82	83	84	84	84	78	70	62	55	50	47	45	45	45	47	51	58	64
	$Rs_{méd.p}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,58	1,28	1,87	2,30	2,53	2,54	2,32	1,93	1,39	0,76	0,20	0,01	0,00
	$Rn_{méd.p}$	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,11	0,48	1,02	1,46	1,76	1,93	1,93	1,74	1,42	1,00	0,51	0,11	-0,01	-0,02
	$u_{2méd.p}$	0,55	0,51	0,48	0,46	0,40	0,38	0,37	0,37	0,37	0,39	0,49	0,87	1,33	1,69	1,84	1,84	1,79	1,78	1,72	1,56	1,38	0,87	0,66	0,61
	$ea_{méd.p}$	2,01	2,04	2,05	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,10	2,21	2,29	2,31	2,27	2,21	2,14	2,07	2,02	1,97	1,94	1,93	1,95	1,98
	$es_{méd.p}$	3,19	3,04	2,92	2,82	2,74	2,67	2,62	2,57	2,52	2,49	2,56	2,85	3,26	3,68	4,03	4,29	4,48	4,60	4,64	4,59	4,40	4,04	3,65	3,38

Continuação: TABELA 4.4 – MÉDIAS HORÁRIAS DA UMIDADE RELATIVA ($UR_{méd,p}$; %), RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE ($Rs_{méd,p}$; MJ m⁻²), SALDO DE RADIAÇÃO ($Rn_{méd,p}$; MJ m⁻²), VELOCIDADE DO VENTO ($u_{2méd,p}$; m s⁻¹), PRESSÃO ATUAL DE VAPOR ($ea_{méd,p}$; MPa) E PRESSÃO DE SATURAÇÃO DE VAPOR ($es_{méd,p}$; MPa), OBTIDAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2018, PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (*Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa* e *Cwb*), QUE SERVIRAM DE ENTRADA PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) COM OS MÉTODOS PADRÃO E ADAPTADOS/REDUZIDOS TESTADOS.

Clima	Variável	Horas do dia																							
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
BSh	$UR_{méd,p}$	62	65	68	71	72	74	75	77	78	79	77	72	66	60	55	51	47	44	43	42	43	48	53	58
	$Rs_{méd,p}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,30	0,91	1,58	2,16	2,58	2,83	2,84	2,60	2,14	1,51	0,79	0,15	0,00	0,00
	$Rn_{méd,p}$	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,00	0,19	0,64	1,16	1,60	1,92	2,11	1,97	1,63	1,14	0,59	0,12	-0,02	-0,02
	$u_{2méd,p}$	2,68	2,46	2,16	2,03	1,99	1,92	1,89	1,76	1,67	1,63	2,20	3,05	3,52	3,69	3,67	3,66	3,62	3,53	3,56	3,57	3,48	3,04	2,94	2,95
	$ea_{méd,p}$	2,29	2,30	2,30	2,31	2,31	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,32	2,34	2,33	2,30	2,27	2,25	2,21	2,19	2,16	2,15	2,16	2,19	2,23	2,27
	$es_{méd,p}$	3,34	3,22	3,12	3,04	2,98	2,92	2,86	2,82	2,78	2,75	2,82	3,03	3,26	3,47	3,69	3,91	4,11	4,27	4,35	4,34	4,22	3,95	3,67	3,48
Cfa	$UR_{méd,p}$	60	62	64	66	68	70	72	74	75	76	73	68	62	57	52	48	45	43	42	42	44	48	54	58
	$Rs_{méd,p}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,34	0,97	1,67	2,26	2,66	2,80	2,74	2,47	2,01	1,42	0,75	0,19	0,02	0,00
	$Rn_{méd,p}$	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,11	0,43	0,88	1,35	1,71	1,89	1,90	1,77	1,52	1,16	0,71	0,28	0,03	-0,01
	$u_{2méd,p}$	1,72	2,05	2,10	2,02	1,93	1,81	1,67	1,58	1,48	1,45	1,92	2,52	2,87	2,98	2,94	2,85	2,72	2,61	2,57	2,40	2,11	1,51	1,33	1,48
	$ea_{méd,p}$	1,71	1,71	1,71	1,70	1,70	1,69	1,68	1,68	1,67	1,67	1,67	1,69	1,70	1,71	1,71	1,70	1,69	1,68	1,66	1,65	1,65	1,66	1,69	1,70
	$es_{méd,p}$	2,63	2,54	2,47	2,39	2,34	2,28	2,23	2,19	2,15	2,13	2,16	2,30	2,52	2,77	3,01	3,23	3,40	3,53	3,59	3,56	3,44	3,21	2,94	2,75
Cfb	$UR_{méd,p}$	82	84	85	86	87	88	88	89	89	89	88	86	82	77	72	68	65	63	62	63	66	70	75	79
	$Rs_{méd,p}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,20	0,64	1,21	1,74	2,16	2,37	2,35	2,15	1,81	1,35	0,82	0,33	0,07	0,00
	$Rn_{méd,p}$	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,01	0,14	0,50	0,96	1,40	1,72	1,88	1,88	1,76	1,47	1,08	0,66	0,23	0,03	-0,02
	$u_{2méd,p}$	2,74	2,78	2,78	2,75	2,70	2,68	2,66	2,62	2,53	2,56	2,62	2,83	3,00	3,14	3,17	3,20	3,18	3,15	3,11	2,99	2,78	2,58	2,54	2,65
	$ea_{méd,p}$	1,35	1,34	1,34	1,33	1,33	1,32	1,31	1,31	1,30	1,30	1,30	1,33	1,37	1,39	1,39	1,37	1,35	1,33	1,32	1,32	1,32	1,34	1,35	1,35
	$es_{méd,p}$	1,80	1,73	1,68	1,63	1,60	1,57	1,54	1,52	1,50	1,49	1,52	1,62	1,77	1,94	2,12	2,28	2,40	2,49	2,51	2,47	2,38	2,22	2,04	1,90
Cwa	$UR_{méd,p}$	79	82	84	85	87	88	89	90	90	91	90	86	78	71	64	58	54	51	49	50	53	60	69	75
	$Rs_{méd,p}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,14	0,58	1,24	1,84	2,28	2,50	2,46	2,22	1,82	1,25	0,66	0,17	0,01	0,00
	$Rn_{méd,p}$	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,08	0,34	0,89	1,34	1,63	1,76	1,73	1,59	1,30	0,90	0,46	0,10	-0,01	-0,02
	$u_{2méd,p}$	1,21	1,09	0,98	0,89	0,85	0,79	0,75	0,70	0,68	0,68	0,71	1,03	1,45	1,68	1,81	1,89	1,94	1,98	1,97	1,94	1,85	1,66	1,47	1,38
	$ea_{méd,p}$	1,90	1,89	1,87	1,85	1,84	1,82	1,81	1,79	1,78	1,77	1,79	1,86	1,91	1,91	1,88	1,84	1,81	1,78	1,76	1,76	1,80	1,87	1,92	1,92
	$es_{méd,p}$	2,36	2,27	2,20	2,14	2,09	2,05	2,01	1,98	1,95	1,93	1,97	2,17	2,48	2,79	3,06	3,30	3,50	3,65	3,72	3,68	3,52	3,13	2,73	2,50
Cwb	$UR_{méd,p}$	63	66	68	70	72	74	76	78	79	80	78	71	64	58	53	48	45	43	42	42	44	49	56	61
	$Rs_{méd,p}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,26	0,87	1,60	2,20	2,58	2,77	2,76	2,49	2,05	1,43	0,76	0,20	0,01	0,00
	$Rn_{méd,p}$	0,54	0,61	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,59	0,58	0,57	0,73	1,15	1,68	2,13	2,38	2,44	2,37	2,26	1,97	1,56	1,08	0,67	0,53	0,53
	$u_{2méd,p}$	1,58	1,55	1,51	1,43	1,39	1,40	1,41	1,39	1,40	1,42	1,62	2,12	2,45	2,61	2,60	2,53	2,45	2,41	2,35	2,23	1,96	1,55	1,45	1,55
	$ea_{méd,p}$	1,81	1,81	1,81	1,80	1,80	1,79	1,78	1,77	1,77	1,77	1,79	1,82	1,84	1,84	1,82	1,79	1,76	1,72	1,70	1,69	1,70	1,74	1,79	1,81
	$es_{méd,p}$	2,72	2,62	2,54	2,46	2,39	2,33	2,28	2,23	2,19	2,17	2,26	2,50	2,79	3,09	3,36	3,60	3,79	3,92	3,96	3,92	3,77	3,42	3,06	2,85

TABELA 4.5 – MÉDIAS DIÁRIAS DA UMIDADE RELATIVA ($UR_{méd.p}$; %), RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE ($Rs_{méd.p}$; MJ m⁻²), SALDO DE RADIAÇÃO ($Rn_{méd.p}$; MJ m⁻²), VELOCIDADE DO VENTO ($u_{2méd.p}$; m s⁻¹), PRESSÃO ATUAL DE VAPOR ($ea_{méd.p}$; MPa) E PRESSÃO DE SATURAÇÃO DE VAPOR ($es_{méd.p}$; MPa), OBTIDAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2018, PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa e Cwb), QUE SERVIRAM DE ENTRADA PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) COM OS MÉTODOS PADRÃO E ADAPTADOS/REDUZIDOS TESTADOS.

Clima	Variável	Estações do ano ⁽¹⁾			
		Primavera	Verão	Outono	Inverno
Af	$UR_{méd.p}$	78	76	78	80
	$Rs_{méd.p}$	16,92	16,15	14,48	16,13
	$Rn_{méd.p}$	11,13	10,59	8,27	9,06
	$u_{2méd.p}$	2,65	2,54	2,39	2,45
	$ea_{méd.p}$	1,18	1,15	1,06	1,21
	$es_{méd.p}$	3,34	3,21	3,02	3,09
Am	$UR_{méd.p}$	77	71	75	79
	$Rs_{méd.p}$	18,98	19,14	14,07	16,09
	$Rn_{méd.p}$	12,30	12,37	8,01	9,65
	$u_{2méd.p}$	2,54	2,45	2,16	2,33
	$ea_{méd.p}$	1,69	1,31	1,35	1,60
	$es_{méd.p}$	3,30	3,19	2,81	3,03
As	$UR_{méd.p}$	70	67	75	75
	$Rs_{méd.p}$	22,10	21,13	17,27	18,68
	$Rn_{méd.p}$	13,86	13,32	9,31	9,92
	$u_{2méd.p}$	2,39	2,32	2,02	2,06
	$ea_{méd.p}$	2,21	1,64	1,57	2,12
	$es_{méd.p}$	3,47	3,34	2,92	2,99
Aw	$UR_{méd.p}$	70	70	71	67
	$Rs_{méd.p}$	19,18	19,08	15,89	17,66
	$Rn_{méd.p}$	12,05	11,95	8,27	9,04
	$u_{2méd.p}$	2,18	2,02	1,80	1,93
	$ea_{méd.p}$	1,27	0,96	1,10	1,30
	$es_{méd.p}$	3,35	3,10	2,76	2,96
BSh	$UR_{méd.p}$	72	65	72	75
	$Rs_{méd.p}$	21,20	20,68	16,42	17,73
	$Rn_{méd.p}$	13,20	12,97	8,83	9,40
	$u_{2méd.p}$	2,23	2,23	1,91	1,90
	$ea_{méd.p}$	1,93	1,54	1,51	1,76
	$es_{méd.p}$	3,32	3,30	2,83	2,84
Cfa	$UR_{méd.p}$	72	65	69	75
	$Rs_{méd.p}$	20,82	21,69	15,22	14,84
	$Rn_{méd.p}$	12,78	13,39	7,84	7,52
	$u_{2méd.p}$	1,97	2,04	1,57	1,60
	$ea_{méd.p}$	1,65	1,40	1,43	1,53
	$es_{méd.p}$	2,99	3,07	2,38	2,44
Cfb	$UR_{méd.p}$	74	67	72	81
	$Rs_{méd.p}$	21,53	22,23	15,01	14,41
	$Rn_{méd.p}$	13,19	13,67	7,79	7,45
	$u_{2méd.p}$	1,93	1,97	1,51	1,56
	$ea_{méd.p}$	2,20	1,88	1,90	2,07
	$es_{méd.p}$	2,66	2,72	2,09	2,16
Cwa	$UR_{méd.p}$	76	71	74	77
	$Rs_{méd.p}$	19,04	18,70	14,40	16,18
	$Rn_{méd.p}$	12,11	11,91	7,69	8,42
	$u_{2méd.p}$	2,22	2,18	1,75	1,81
	$ea_{méd.p}$	1,48	1,15	1,20	1,33
	$es_{méd.p}$	2,95	2,90	2,33	2,42
Cwb	$UR_{méd.p}$	71	68	71	69
	$Rs_{méd.p}$	31,43	24,89	27,58	29,74
	$Rn_{méd.p}$	20,45	15,67	16,64	17,85
	$u_{2méd.p}$	2,03	1,94	1,62	1,71
	$ea_{méd.p}$	1,57	1,23	1,33	1,55
	$es_{méd.p}$	3,11	2,98	2,49	2,63

⁽¹⁾ Para as estações do ano, foram considerados os seguintes períodos: Verão entre 21 de dezembro e 20 de março; Outono entre 21 de março e 20 de junho; Inverno entre 21 de junho e 22 de setembro; e, Primavera entre 23 de setembro e 20 de dezembro.

4.5.3 Validação dos modelos testados na periodicidade horária

Na TABELA 4.5 encontra-se os indicadores estatísticos obtidos das associações entre as *ETo* horárias estimadas com os modelos *ASCE.h* e adaptados/reduzidos *PMR.h*, *MJSa.h* e *Ta.h* (APÊNDICE 8: FIGURAS 8A.1 a 8A.3).

As *ETo_{PMR.h}* horárias ficaram mais próximas da *ETo_{ASCE.h}* estimada com o modelo *ASCE.h* padrão ($0,85 \leq r \leq 0,91$; $0,11 \leq RMSE \leq 0,12 \text{ mm h}^{-1}$ e $0,69 \leq NSE \leq 0,84$) em oito dos nove tipos climáticos brasileiros. Apenas no clima *Cwb* o modelo *MJSa.h* teve desempenho superior ($r = 0,87$; $RMSE = 0,14 \text{ mm h}^{-1}$ e $NSE = 0,62$). O modelo de Turc-Ajustado obteve o segundo melhor desempenho estatístico ($0,82 \leq r \leq 0,90$; $0,11 \leq RMSE \leq 0,14 \text{ mm h}^{-1}$ e $0,55 \leq NSE \leq 0,81$) em seis tipos climáticos brasileiros (*Am*, *Af*, *Aw*, *BSh*, *Cfa* e *Cwa*), e o modelo *MJSa.h* obteve o segundo melhor desempenho estatístico ($0,82 \leq r \leq 0,89$; $RMSE = 0,14 \text{ mm h}^{-1}$ e $0,56 \leq NSE \leq 0,71$) em dois tipos climáticos (*As*, *Cfb*). Os resultados indicaram que o ajuste proposto para o modelo de Turc (1961) foi adequado, permitindo boas estimativas de *ETo* na periodicidade horária (FIGURA 4.9 e TABELA 4.5).

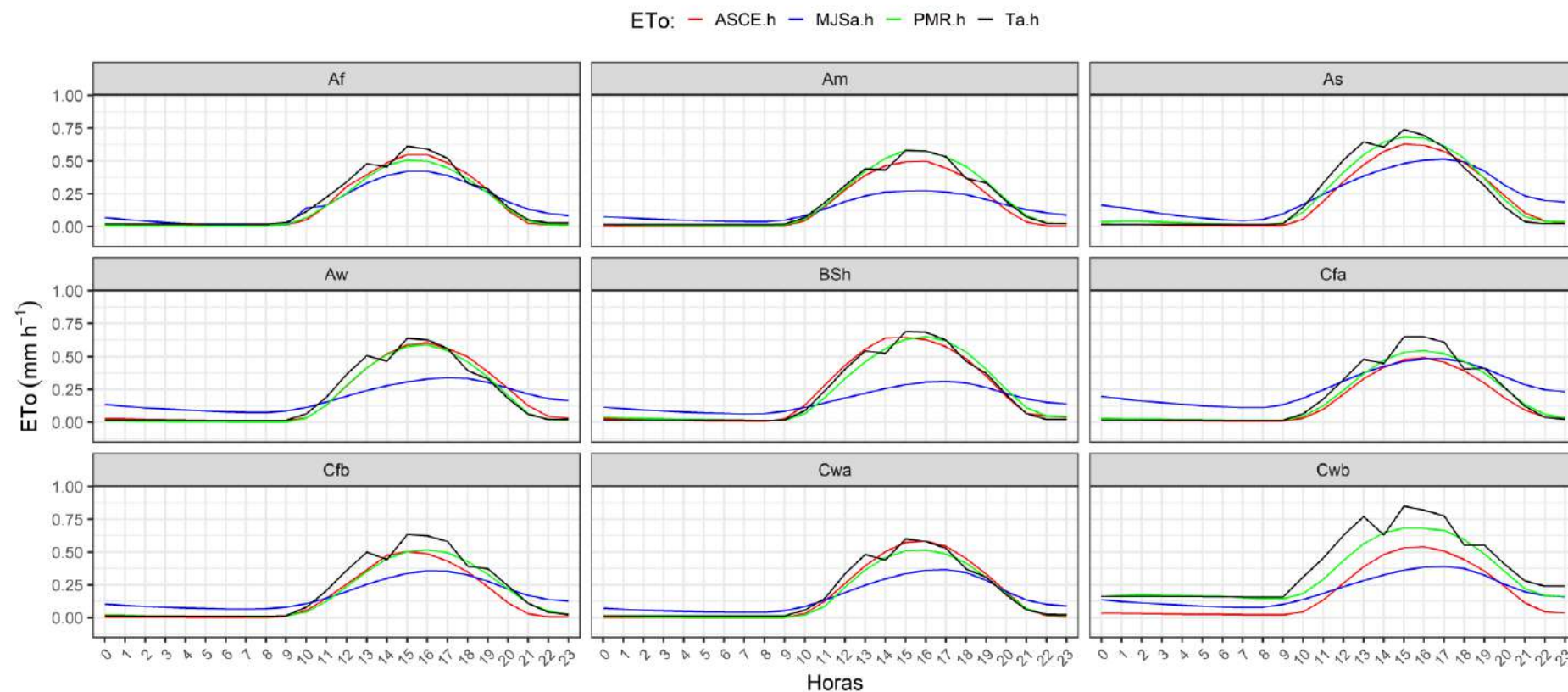
Tegos et al. (2017), comparando a *ETo* estimada com modelos alternativos com a equação *ASCE-PM* padrão obtiveram *NSE* inferiores à 0,50, indicando baixa capacidade preditiva em relação ao modelo padrão. Logo, os modelos adaptados/reduzidos testados tiveram bom desempenho, sendo o modelo *PMR.h* o mais indicado para os climas *Am*, *Af*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb* e *Cwa* ($NSE > 0,69$). Apenas para o clima *Cwb* foi mais indicado a utilização do modelo *MJSa.h* ($NSE = 0,62$; TABELA 4.5).

TABELA 4.5 – INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NAS ASSOCIAÇÕES ENTRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA ESTIMADA COM OS MODELOS PADRÃO DA AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS ($ET_{oASCE.h}$) E ADAPTADOS/REDUZIDOS DE PENMAN-MONTEITH-REDUZIDO (ET_{oPMR}), MORETTI-JERSZURKI-SILVA-AJUSTADO ($ET_{oMJS(\Psi_{ar})La.h}$) E TURC-AJUSTADO ($ET_{oTa.h}$), PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa e Cwb).

Clima	Associações horárias	$r^{(1)}$	Indicadores $RMSE^{(2)}$	$NSE^{(3)}$
<i>Af</i>	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oPMR.h}$	0,89	0,11	0,78
	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oMJS(\Psi_{ar})La.h}$	0,89	0,12	0,74
	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oTa.h}$	0,87	0,11	0,77
<i>Am</i>	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oPMR.h}$	0,86	0,12	0,71
	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oMJS(\Psi_{ar})La.h}$	0,89	0,15	0,54
	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oTa.h}$	0,83	0,13	0,66
<i>As</i>	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oPMR.h}$	0,90	0,11	0,80
	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oMJS(\Psi_{ar})La.h}$	0,89	0,14	0,71
	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oTa.h}$	0,85	0,14	0,68
<i>Aw</i>	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oPMR.h}$	0,90	0,11	0,81
	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oMJS(\Psi_{ar})La.h}$	0,86	0,17	0,52
	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oTa.h}$	0,85	0,13	0,71
<i>BSh</i>	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oPMR.h}$	0,91	0,11	0,84
	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oMJS(\Psi_{ar})La.h}$	0,84	0,20	0,40
	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oTa.h}$	0,90	0,12	0,81
<i>Cfa</i>	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oPMR.h}$	0,85	0,12	0,69
	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oMJS(\Psi_{ar})La.h}$	0,83	0,17	0,38
	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oTa.h}$	0,82	0,14	0,55
<i>Cfb</i>	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oPMR.h}$	0,85	0,12	0,72
	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oMJS(\Psi_{ar})La.h}$	0,82	0,14	0,56
	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oTa.h}$	0,81	0,15	0,55
<i>Cwa</i>	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oPMR.h}$	0,91	0,10	0,81
	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oMJS(\Psi_{ar})La.h}$	0,89	0,14	0,64
	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oTa.h}$	0,88	0,12	0,77
<i>Cwb</i>	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oPMR.h}$	0,88	0,17	0,38
	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oMJS(\Psi_{ar})La.h}$	0,87	0,14	0,62
	$ET_{oASCE.h}$ vs $ET_{oTa.h}$	0,80	0,25	-0,23

⁽¹⁾ r – Coeficiente de correlação (adimensional); ⁽²⁾ $RMSE$ – Raiz quadrada do erro quadrado médio (mm h⁻¹); ⁽³⁾ NSE – Eficiência de Nash-Sutcliffe (adimensional).

FIGURA 4.9 – MÉDIA HORÁRIA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ESTIMADA COM OS MODELOS PADRÃO DA AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS ($ET_{oASCE,h}$) E ADAPTADOS/REDUZIDOS MORETTI-JERSZURKI-SILVA-AJUSTADO ($ET_{oMJS(Var)La,h}$), PENMAN-MONTEITH-REDUZIDO ($ET_{oPMR,h}$) E TURC-AJUSTADO ($ET_{oTa,h}$), PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa E Cwb).



Fonte: O autor (2024).

Apesar do bom resultado com o indicador *NSE*, o erro *RMSE* também deve ser considerado. Os *RMSEs* foram maiores para os modelos *MJSa.h* e *Ta.h*, provavelmente devido ao menor número de variáveis de entrada, em comparação ao modelo *ASCE* padrão. O modelo *PMR.h* utiliza as mesmas entradas do modelo *ASCE*, mas apenas a temperatura do ar varia, sendo o motivo dos erros entre as duas metodologias. Rosa (2023), realizando análise de sensibilidade da *ETo* dos climas mundiais com o modelo *ASCE*, verificou que a *Rn* foi a variável de entrada mais atuante, sendo responsável pela maior variabilidade da *ETo* ao longo do dia. Logo, utilizar apenas a temperatura do ar como variável aumenta a possibilidade de erros, o que pode ser melhor observado nas análises de regressão linear apresentadas no APÊNDICE 8 (FIGURAS 8A.1 a 8A.3).

O modelo Turc-Ajustado (*ETo_{Ta.h}*) considera a *Rs*, que por sua vez é utilizada como uma das componentes para estimar a *Rn* no roteiro da *ASCE* (APÊNDICE 3 e Equações 3.4b). Diante disso, justifica-se o fato do modelo ter sido o segundo melhor em desempenho estatístico para a maioria dos climas brasileiros analisados.

Tegos et al. (2017) e Jerszurki et al. (2017) consideram que a calibração dos modelos, para estimativa da *ETo*, permite maior precisão. Assim, os ajustes realizados para o modelo Moretti-Jerszurki-Silva-Ajustado (TABELA 4.2 – Coeficientes lineares e angulares calibrados; FIGURA 4.1 – Ajuste do descompasso; TABELA 3.4 – Médias das variáveis climáticas de entrada) foram capazes de melhorar consideravelmente as estimativas da *ETo* na periodicidade horária (TABELA 4.5 e FIGURA 4.9). No entanto, é importante considerar também que as estimativas horárias da *ETo*, com o modelo *MJSa.h*, ocorreram unicamente em função da temperatura (Equações 4.2c ao 4.2f) e a média da umidade relativa para cada hora (TABELA 4.4), tornando a aplicação do modelo fácil, mesmo tendo somente dados remotos à disposição. Além disso, dentre os modelos adaptados/reduzidos testados, o *MJSa.h* é o único que não considera a *Rn* ou *Rs*, que são variáveis indisponíveis em muitas localidades e/ou mais difíceis de serem espacializadas.

De forma geral, a utilização dos valores médios $UR_{méd.p}$, $Rs_{méd.p}$, $Rn_{méd.p}$, $U_{2méd.p}$, $es_{méd.p}$ e $ea_{méd.p}$, resultaram em boas estimativas da *ETo* com os modelos testados (FIGURA 4.9), indicando que a extrapolação das médias (TABELA 4.4) para localidades de mesmo clima pode ser realizada com determinada segurança, na falta de dados climáticos confiáveis.

A utilização de valores médios como entrada nos modelos testados ($UR_{\text{méd.p.}}$, $Rs_{\text{méd.p.}}$, $Rn_{\text{méd.p.}}$, $u_{2\text{méd.p.}}$, $es_{\text{méd.p.}}$ e $ea_{\text{méd.p.}}$), tendo apenas a temperatura do ar como variável, permitiu estimativas da ETo com bom desempenho estatístico (TABELA 4.5). Os resultados são interessantes, pois Santos et al. (2021a) consideraram que a estimativa horária da ETo com modelos como $ASCE$ é mais difícil em localidades remotas, devido à falta de dados em quantidade e qualidade. Rosa (2023), estudando a ETo para climas mundiais também relata que valores de Rn ou Rs nem sempre estão disponíveis e, quando disponíveis, podem apresentar muitas falhas no banco de dados. Portanto, a utilização dos valores médios (por hora) como entrada nos modelos testados, tendo somente a temperatura do ar como variável, é uma excelente alternativa em casos de falta de dados para utilização do modelo $ASCE$ padrão.

As médias horárias das variáveis $UR_{\text{méd.p.}}$, $Rs_{\text{méd.p.}}$, $Rn_{\text{méd.p.}}$, $u_{2\text{méd.p.}}$, $es_{\text{méd.p.}}$ e $ea_{\text{méd.p.}}$, obtidas no presente Capítulo IV, podem ser extrapoladas para localidades de mesmo clima (TABELA 4.4), permitindo realizar estimativas da ETo de forma alternativa e com razoável precisão. Contudo, a escolha do modelo adaptado/reduzido deverá considerar o tipo climático, pois constatou-se diferenças nos indicadores estatísticos entre os modelos em relação aos diferentes tipos climáticos (TABELA 4.5).

4.5.4 Validação dos modelos testados na periodicidade diária

Na TABELA 4.6 encontra-se os indicadores estatísticos obtidos nas associações entre a ETo diária estimada com os modelos $ASCE.d$ e adaptados/reduzidos $PMR.d$, $MJS.d$ e $T.d$. (APÊNDICE 8; FIGURAS 8A.4 a 8A.6).

As $ETo_{T.d}$ diárias ficaram mais próximas das $ETo_{ASCE.d}$ estimadas com o modelo $ASCE.d$ padrão ($0,63 \leq r \leq 0,77$; $0,64 \leq RMSE \leq 1,04 \text{ mm dia}^{-1}$ e $0,19 \leq NSE \leq 0,42$) em sete dos nove tipos climáticos brasileiros analisados. O modelo $PMR.d$ obteve melhor ajuste apenas para o clima Am ($r = 0,49$; $RMSE = 1,26 \text{ mm dia}^{-1}$; e $NSE = 0,09$), e o modelo $MJS.d$ no clima Cwb ($r = 0,72$; $RMSE = 1,79 \text{ mm dia}^{-1}$; e $NSE = -2,56$; TABELA 4.6).

Oliveira (2018), associando as ETo diárias dos modelos “ $MJS.d$ vs $ASCE.d$ ”, obteve $RMSE$ entre 0,33 e 1,4 mm dia^{-1} . Baseando-se na literatura (Djaman et al., 2015; Liu et al., 2017), os resultados foram considerados adequados, e as associações foram estreitas, com coeficiente de correção (r) variando entre 0,5 e 1,0.

Nas análises do presente Capítulo IV obteve-se $RMSE < 2,36 \text{ mm dia}^{-1}$ e $r > 0,46$ (TABELA 4.6), indicando que as ET_o diárias estimadas com os modelos adaptados/reduzidos não foram boas. Tegos et al. (2017) consideraram que $NSE < 0,50$ indicaram baixa capacidade preditiva em relação ao modelo padrão. Logo, os modelos adaptados/reduzidos testados não apresentaram bons desempenhos ($-3,65 \leq NSE \leq 0,42$; TABELA 4.6). O modelo $MJS.d$ apresentou valores de NSE negativos em todos os climas brasileiros analisados, e no clima Cwb todos os modelos adaptados/reduzidos apresentaram NSE negativos (TABELA 4.6).

Doorembos e Pruitt (1977) consideraram que o uso de dados climáticos médios em métodos combinados, contendo componentes aerodinâmicos e radiação solar, pode proporcionar erros significativos na estimativa da ET_o , resultantes das combinações entre as variáveis climáticas.

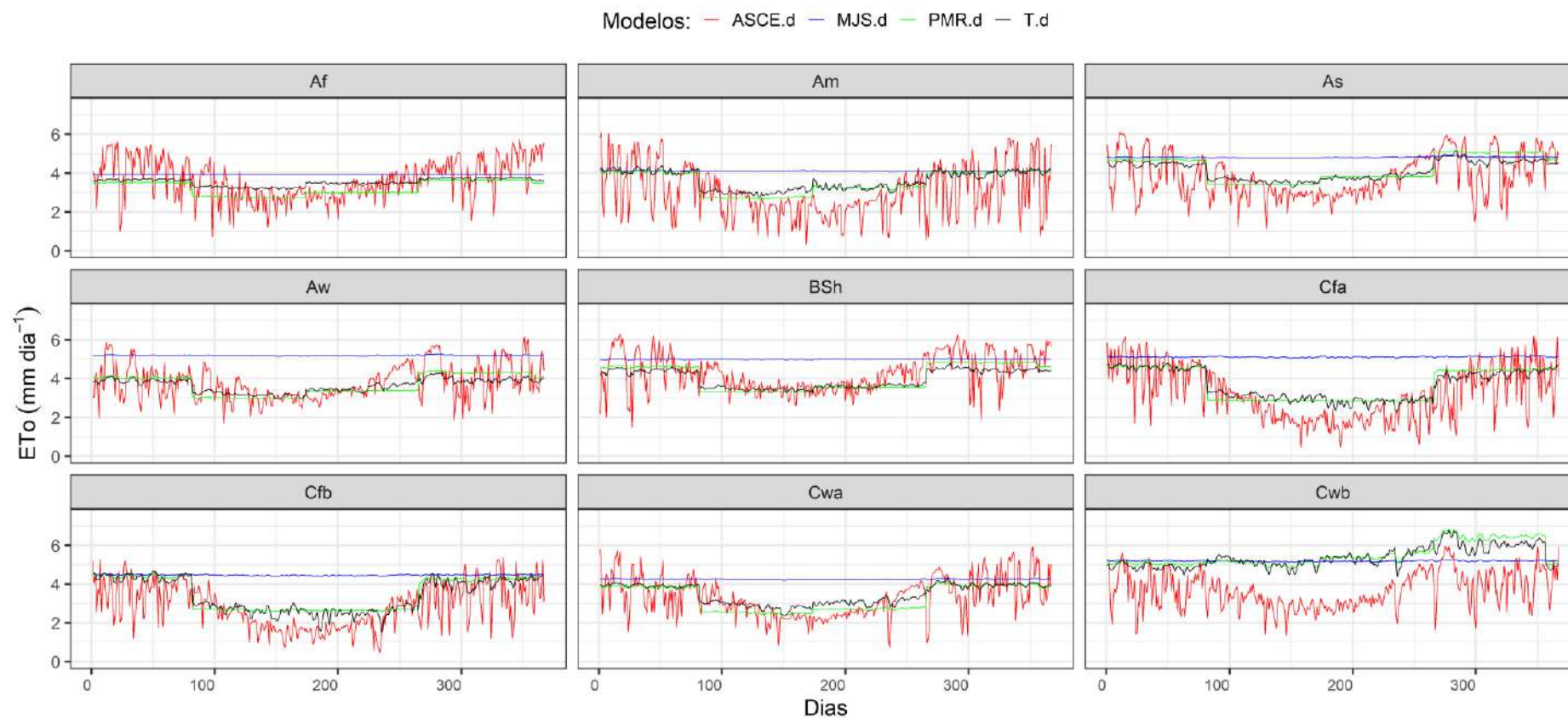
Silva (2021), em estudo sobre a espacialização da ET_o diária, destacou a importância e possibilidade de utilização dos modelos adaptados/reduzidos para a espacialização da ET_o . Geralmente, os dados de entrada necessários nos modelos são obtidos em equações estabelecidas e calibradas em associações entre dados remotos e medidos em estações meteorológicas. A finalidade é a mesma dos métodos reduzidos visando realizar a espacialização da ET_o em grandes áreas (Paredes et al., 2020; Paredes et al., 2021). Assim, a utilização de médias diárias em modelos, com a finalidade de variar apenas a temperatura do ar, vem ganhando espaço e aplicação. Contudo, os resultados dispostos na TABELA 4.6 são interessantes e importantes, pois indicaram que há restrições na utilização deste tipo de procedimento. A utilização de dados médios como entrada em modelos é interessante unicamente em condições extremas, em localidades remotas, apresentando falhas de dados ou inexistência dos mesmos. A utilização dos modelos “padrão” (sem considerar a entrada de médias no lugar das variáveis) é sempre mais recomendável.

TABELA 4.6 – INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NAS ASSOCIAÇÕES ENTRE A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA ESTIMADA COM OS MODELOS PADRÃO DA AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS ($ET_{ASCE,h}$) E ADAPTADOS/REDUZIDOS DE PENMAN-MONTEITH-REDUZIDO ($ET_{PMR,d}$), MORETTI-JERSZURKI-SILVA ($ET_{MJS(\psi_{ar})L,d}$) E TURC ($ET_{T,d}$), PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS.

Clima	Associações diárias	Indicadores		
		$r^{(1)}$	$RMSE^{(2)}$	$NSE^{(3)}$
Af	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{PMR,d}$	0,61	0,97	0,14
	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{MJS(\psi_{ar})L,d}$	0,55	1,08	-0,06
	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{T,d}$	0,65	0,94	0,19
Am	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{PMR,d}$	0,49	1,26	0,09
	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{MJS(\psi_{ar})L,d}$	0,58	1,71	-0,68
	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{T,d}$	0,57	1,27	0,08
As	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{PMR,d}$	0,49	1,05	0,09
	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{MJS(\psi_{ar})L,d}$	0,72	1,47	-0,76
	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{T,d}$	0,63	0,94	0,28
Aw	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{PMR,d}$	0,46	0,82	0,19
	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{MJS(\psi_{ar})L,d}$	0,75	1,68	-2,35
	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{T,d}$	0,65	0,75	0,32
BSh	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{PMR,d}$	0,57	0,82	0,25
	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{MJS(\psi_{ar})L,d}$	0,54	1,17	-0,53
	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{T,d}$	0,65	0,80	0,29
Cfa	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{PMR,d}$	0,70	1,10	0,35
	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{MJS(\psi_{ar})L,d}$	0,51	2,36	-1,97
	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{T,d}$	0,77	1,04	0,42
Cfb	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{PMR,d}$	0,66	1,07	0,11
	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{MJS(\psi_{ar})L,d}$	0,74	1,96	-1,96
	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{T,d}$	0,73	0,95	0,30
Cwa	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{PMR,d}$	0,60	0,83	0,35
	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{MJS(\psi_{ar})L,d}$	0,72	1,39	-0,79
	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{T,d}$	0,67	0,64	0,40
Cwb	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{PMR,d}$	0,44	2,04	-3,65
	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{MJS(\psi_{ar})L,d}$	0,72	1,79	-2,56
	$ET_{ASCE,d}$ vs $ET_{T,d}$	0,51	1,89	-2,97

⁽¹⁾ r – Coeficiente de correlação (adimensional); ⁽²⁾ $RMSE$ – Raiz quadrada do erro quadrado médio (mm dia⁻¹); ⁽³⁾ NSE – Eficiência de Nash-Sutcliffe (adimensional).

FIGURA 4.10 – MÉDIA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) DIÁRIA, ESTIMADA COM OS MODELOS DA AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS ($ET_{oASCE.d}$) E ADAPTADOS/REDUZIDOS MORETTI-JERSZURKI-SILVA ($ET_{oMJS(Yar)L.d}$), PENMAN-MONTEITH-REDUZIDO ($ET_{oPMR.d}$) E TURC ($ET_{oT.d}$), PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS.



Fonte: O autor (2024).

Realizando a análise de sensibilidade do modelo *ASCE.d* em Piracicaba-SP, Rosa (2023) verificou que o *Rn* foi a variável mais atuante. A utilização do *Rn* estimado no método *ASCE*, devido a indisponibilidade de valores medidos, também pode proporcionar erros e variabilidade no cálculo da *ETo*. Turco et al. (2005) e Yin et al. (2008) utilizando o *Rn* estimado verificaram superestimativas de até 27% nos valores da *ETo* diária estimada na China. Logo, acredita-se que a adaptação de modelos que não consideram a radiação solar, como o Moretti-Jerszurki-Silva ($ETo_{MJS(\psi_{ar})L.d}$), são mais prejudicados para estimar a *ETo* diária, principalmente em regiões úmidas, visto que a temperatura do ar não é a variável mais atuante para estimar a *ETo* (FIGURA 4.10). Contudo, a inexistência de valores medidos do *Rn* para a maioria das estações meteorológicas brasileiras torna os modelos alternativos *MJS* e *Turc* interessantes, em casos de estudo em localidades remotas.

Treder e Klamkowski (2017), Oliveira (2018) e Santos et al. (2021b) consideraram que a *ETo* na periodicidade horária, realizando o somatório das 24 horas do dia, pode permitir maior precisão nas estimativas da *ETo* diária. Na TABELA 4.7 encontra-se os indicadores estatísticos obtidos das associações entre a *ETo* diária estimada com os modelos *ASCE.d* e adaptados/reduzidos ($PMR.d_{24}$, $MJS.d_{24}$ e $T.d_{24}$), resultantes do somatório das *ETo* horárias das 24 horas (APÊNDICE 8; FIGURAS 8A.7 a 8A.9).

A expectativa de melhoria na estimativa da *ETo*, conforme os modelos adaptados/reduzidos $PMR.d_{24}$, $MJS.d_{24}$ e $T.d_{24}$ não se confirmou. De forma geral, o desempenho estatístico dos modelos adaptados/reduzidos ($PMR.d_{24}$, $MJS.d_{24}$ e $T.d_{24}$; TABELA 4.7) foram inferiores, pois houve predominância de baixos coeficientes de correlações (r), elevados erros *RMSE*, e valores negativos do *NSE* na maioria das associações realizadas ($-0,68 \leq r \leq 0,81$; $0,84 \leq RMSE \leq 2,22 \text{ mm h}^{-1}$ e $-33,17 \leq NSE \leq 0,37$). Os resultados revelaram que os modelos adaptados/reduzidos, apesar de terem bom desempenho estatístico na periodicidade horária (TABELA 4.5), não podem ser somados para obtenção dos valores diários de *ETo*. O motivo deveu-se aos somatórios dos erros, que estão presentes nas *ETo* horárias, proporcionados pelo uso de médias horárias das “variáveis” de entrada, tendo apenas temperatura do ar com variável.

TABELA 4.7 – INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NAS ASSOCIAÇÕES ENTRE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA ESTIMADA COM OS MODELOS PADRÃO DA AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS ($ET_{ASCE.h}$) E ADAPTADOS/REDUZIDOS DE PENMAN-MONTEITH-REDUZIDO ($ET_{OPMR.d24}$), MORETTI-JERSZURKI-SILVA ($ET_{MJS(\Psi_{ar})L.d24}$) E TURC ($ET_{T.d24}$), SOMANDO-SE OS VALORES DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DAS 24 HORAS DE CADA DIA, PARA OS CLIMAS BRASILEIROS.

Clima	Associações diárias	----- Indicadores -----		
		$r^{(1)}$	$RMSE^{(2)}$	$NSE^{(3)}$
Af	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{OPMR.d24}$	0,81	1,01	0,06
	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{MJS(\Psi_{ar})L.d24}$	0,73	0,88	0,30
	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{T.d24}$	-0,68	1,33	-0,62
Am	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{OPMR.d24}$	0,36	1,77	-0,81
	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{MJS(\Psi_{ar})L.d24}$	0,64	1,05	0,37
	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{T.d24}$	0,14	1,80	-0,86
As	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{OPMR.d24}$	0,54	1,97	-2,19
	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{MJS(\Psi_{ar})L.d24}$	0,84	2,10	-2,60
	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{T.d24}$	-0,45	2,04	-2,42
Aw	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{OPMR.d24}$	0,46	0,82	0,19
	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{MJS(\Psi_{ar})L.d24}$	0,81	0,88	0,07
	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{T.d24}$	-0,45	1,35	-1,16
BSh	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{OPMR.d24}$	0,67	1,26	-0,76
	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{MJS(\Psi_{ar})L.d24}$	0,80	0,82	0,25
	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{T.d24}$	0,03	1,26	-0,76
Cfa	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{OPMR.d24}$	0,73	1,78	-0,70
	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{MJS(\Psi_{ar})L.d24}$	0,76	3,32	-4,90
	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{T.d24}$	0,11	2,12	-1,42
Cfb	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{OPMR.d24}$	0,74	1,55	-0,86
	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{MJS(\Psi_{ar})L.d24}$	0,79	1,43	-0,59
	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{T.d24}$	-0,17	2,22	-2,80
Cwa	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{OPMR.d24}$	0,81	1,06	-0,04
	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{MJS(\Psi_{ar})L.d24}$	0,81	0,84	0,34
	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{T.d24}$	-0,12	1,44	-0,93
Cwb	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{OPMR.d24}$	0,71	4,15	-18,25
	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{MJS(\Psi_{ar})L.d24}$	0,76	1,27	-0,81
	$ET_{ASCE.d}$ vs $ET_{T.d24}$	-0,20	5,54	-33,17

⁽¹⁾ r – Coeficiente de correlação (adimensional); ⁽²⁾ $RMSE$ – Raiz quadrada do erro quadrado médio (mm dia^{-1}); ⁽³⁾ NSE – Eficiência de Nash-Sutcliffe (adimensional).

4.6 CONCLUSÕES

- Dos modelos adaptados/reduzidos testados, considerando apenas a temperatura do ar como variável de entrada, apenas o modelo Penman-Monteith-Reduzido tem precisão para estimar a $ET_{oPMR.h}$ horária em oito dos nove tipos climáticos brasileiros. Os modelos $MJSa.h$ e Turc-Ajustado não são indicados para estimar a ET_o , generalizadamente, dos tipos climáticos brasileiros;
- Os modelos Penman-Monteith-Reduzido, $MJS.d$ e Turc não são indicados para estimar a ET_o na periodicidade diária tendo apenas a temperatura do ar como variável de entrada, sendo indicada a sua utilização somente em regiões remotas, em que os dados meteorológicos são de difícil obtenção ou não são confiáveis; e
- O somatório das ET_o horárias das 24 horas do dia com os modelos adaptados/reduzidos Penman-Monteith-Reduzido ($PMR.d_{24}$), $MJSa.h$ ($MJS.d_{24}$) e Turc-Ajustado ($T.d_{24}$), tendo apenas a temperatura do ar como variável de entrada, também não é indicado para estimar a ET_o diária.

4.7 REFERÊNCIAS

- ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Revista Engenharia Agrícola**. v.35, n.1, p.39-50. 2015. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430>.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage**, Roma, FAO, Paper n.56, 1998.
- ASCE-EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Report of the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. Reston: **Institut of the American Society of Civil Engineers**; 2005.
- CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária**. Trop., Goiânia, v.41, n.3, p.456-465. 2011.

DJAMAN, K.; BALDE, A. B.; SOW, A.; MULLER, B.; IRMAK, S.; N'DIAYE, M. K.; MANNEH, B.; MOUKOUMBI, Y. D.; FUTAKUCHI, K.; SAITO, K. Evaluation of sixteen reference evapotranspiration methods under sahelian conditions in the Senegal River Valley. *Journal of Hydrology: Regional studies*, v.3, p.139-159. 2015.

DNMET – Departamento Nacional de Meteorologia. 1992. **Normais climatológicas (1961-1990)**. Brasília: Ministério da Agricultura e Reforma Agrária / Secretaria Nacional de Irrigação / Departamento Nacional de Meteorologia. DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. (Irrigation and drainage paper, 24).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. C. Crop water requirements: guidelines for predicting. **FAO Irrigation and drainage paper** 24. 1977.

FISHER, D. K.; PRINGLE, H. C. Evaluation of alternative methods for estimating reference evapotranspiration. **Agricultural Sciences**. v.4, p. 51-60. 2013. DOI: [10.4236/as.2013.48A008](https://doi.org/10.4236/as.2013.48A008).

GAVILÁN, P.; BERENGENA, J.; ALLEN, R. G. Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: impact on Penman-Monteith reference ET estimates in semiarid regions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.89, n.3, p.275-286, 2007.

JERSZURKI, D. Dinâmica da água no continuum solo-planta-atmosfera: tópicos em evapotranspiração de referência e disponibilidade de água às plantas. Curitiba, 2016. 151p. **Tese (Doutorado em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo)** - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Disponível em: http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/tese_2016_jerszurki_d.pdf. Acesso em 16 de maio de 2023.

JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M.; SILVA, L. C. R. Expanding the geography of evapotranspiration: An improved method to quantify land-to-air water fluxes in tropical and subtropical regions. **PLOS ONE**, v.12, n.6, 2017. DOI: [10.1371/journal.pone.0180055](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180055).

KOPPEN, W. **Das geographische System der Klimate**. – Koppen WR. GEIGER – Gebruder Borntrager, Berlin, (Eds.): Handbuch der Klimatologie, part C. v.1, p.1-44, 1936.

LACERDA, Z. C.; TURCO, J. E. P. Estimation methods of reference evapotranspiration (ET_o) for Uberlândia-MG. **Revista Engenharia Agrícola**, v.35, n.1, p.27-38. 2015. Doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430>

LIU, X.; XU, C.; ZHONG, X.; LI, Y.; YUAN, X.; CAO, J. Comparison of 16 models for reference crop evapotranspiration against weighing lysimeter measurement. *Agricultural Water Management*, n, 184, p. 145-155. 2017.

NOLZ, R.; RODNÝ, M. Evaluation and validation of the ASCE standardized reference evapotranspiration equations for a subhumid site in northeastern

Austria. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**. v.67, n.3, p.289-296. 2019.

OLIVEIRA, S. R. Ajuste do método Moretti-Jerszurki-Silva para estimar a evapotranspiração de referência diária e horária dos tipos climáticos brasileiros. **Tese (Doutorado)** - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Curitiba. 2018. Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/tese_2018_oliveira_s_r.pdf>. Acesso em 16 de abril de 2023.

PAREDES, P.; PEREIRA, L. S.; ALMOROX, J.; DAROUICH, H. Reference grass evapotranspiration with reduced data sets: Parameterization of the FAO Penman-Monteith temperature approach and the Hargreaves-Samani equation using local climatic variables. **Agricultural Water Management**. 2020.

PAREDES, P.; TRIGO, I.; BRUIN, H. de.; SIMÕES, N.; PEREIRA, L. Daily grass reference evapotranspiration with Meteosat Second Generation shortwave radiation and reference ET products. **Agricultural Water Management**, 2021.

ROSA, S. L. K. Alternativas para utilização e otimização do método ASCE Penman-Monteith na ausência de dados em quantidade e qualidade. **Tese (Doutorado em Ciência do Solo)**. 151p. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023. Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/tese_2023_rosa_s_l_k.pdf>. Acesso em 16 de abril de 2023.

RStudio Team. **RStudio: Integrated Development for R**. RStudio, PBC, Boston, MA. 2023. URL: <<http://www.rstudio.com/>>.

SANTOS, A. A.; SOUZA, J. L. M.; ROSA, S. L. K. Hourly and Daily Reference Evapotranspiration with ASCE-PM Model for Paraná State, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**. 2021a. ISSN 1982-4351. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863610009>

SANTOS, A. A.; SOUZA, J. L. M.; ROSA, S. L. K. Performance of equations to estimate the hourly actual vapor pressure. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v.23, n.4, p.65-77, 2021c.

SANTOS, A. A.; SOUZA, J. L. M.; ROSA, S. L. K. Evapotranspiration with the Moretti-Jerszurki-Silva model for the Brazilian sub-tropical climate. **Hydrological Sciences Journal**, v.66, n.16, p.1-13, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1988610>

SHWETHA, H. R.; KUMAR, D. N. Performance evaluation of satellite based approaches for the estimation of daily air temperature and reference evapotranspiration. *Hydrological Science Journal*. v.63, n.9, p. 1347-1367. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1505046>

SIEFERT, C. A. C.; NETTO, N. D.; MARANGON, F. H. S.; SCHULTZ, G. B.; SILVA, L. M. R.; FONTELELLE, T. H.; SANTOS, I. Avaliação de Séries de Velocidade do Vento de Produtos de Reanálises Climáticas para o Brasil.

Revista Brasileira de Meteorologia, v.36, n.4, 689-701, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778636002>

SILVA, D. P. Associação espaço-temporal de variáveis meteorológicas com técnicas de sensoriamento remoto para estimativa da evapotranspiração. Curitiba, 2021. 173p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SOUZA, J. L. M.; OLIVEIRA, S. R. ROSA, S. L.; JERSZURKI, D. Hourly reference evapotranspiration by Moretti-Jerszurki-Silva method using data from alternative station. **Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**. v.25, n.8, p.505-513. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n8p505-513>

TEGOS, A.; MALAMOS, N.; EFSTRATIADIS, A.; TSOUKALAS, I.; KARANASIOS, A.; KOUTSOYIANNIS, D. Parametric Modelling of Potential Evapotranspiration: A Global Survey. **Water**, v.9 (795), p.1-22, 2017. DOI: 10.3390/w9100795

TREDER, W.; KLAMKOWSKI, K. An hourly reference evapotranspiration model as a tool for estimating plant water requirements. Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie. **Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich infrastructure and ecology of rural areas**, v.2, n. 1, p.469-481. 2017. DOI: 10.14597/infraeco.2017.2.1.035.

TURC L. Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date. **Annals of Agronomy**. v.12, p.13-49, 1961.

TURCO, J. E. P. de; FARIA, M. T. de; FERNANDES, E. J. Influência da forma de obtenção do saldo de radiação na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga**, Botucatu, v.10, n.3, p.215-228, ago./out. 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2005v10n3p215-228>

WICKHAM, H.; CHANG, W.; HENRY, L.; PEDERSEN, T. L.; TAKAHASHI, K.; WILKE, C.; WOO, K.; YUTANI, H.; DUNNINGTON, D. **Ggplot2: Create Elegant Data Visualizations Using the Grammar of Graphics**. R em interface RStudio, PBC, Boston, MA. 2022. URL: <https://ggplot2.tidyverse.org/>

YIN, Y.; WU, S.; DU, Z.; QUINYE, Y. Radiation calibration of FAO56 Penman-Monteith model to estimate reference crop evapotranspiration in China. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.95, n.1, p.77-84, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.09.002>

ZAMBRANO-BIGIARINI, M. 2020. **hydroGOF: Goodness-of-fit functions for comparison of simulated and observed hydrological time series**. R package Version 0.3-10. URL:< <https://github.com/hzambran/hydroGOF> >.

5 CONCLUSÕES GERAIS

As análises do presente estudo permitiram obter as seguintes conclusões quanto aos módulos computacionais desenvolvidos e testes com os modelos adaptados/reduzidos para estimar a ETo horária e diária:

a) Referente aos *Módulos* desenvolvidos:

– *Módulo_{MJS-A}* e *Módulo_{ETo.h-d}* possibilitaram calcular e analisar grandes série de dados climáticos de forma rápida e precisa, estimando a ETo na periodicidade diária e horária com os modelos *ASCE* e alternativos (adaptados/reduzidos) em um mesmo ambiente de trabalho, não necessitando de instalação e/ou arquivos em formatos específicos para importação de dados e exportação dos resultados. Testes associando respectivos valores de ETo estimados com o *Módulo_{ETo.h-d}*, em relação aos calculados com “*®M.ETo_{ASCE.e.MJS}*” e “*FAO ETo Calculator*”, indicaram bom desempenho para a periodicidade diária/horária e diária, respectivamente, mesmo o modelo *ASCE* e procedimentos metodológicos não sendo exatamente iguais entre os sistemas comparados.

b) Referente à estimativa da ETo horária com o modelo *MJS*:

– O *Módulo_{ASCE-A}* realizou adequadamente a calibração e validação dos parâmetros lineares e quadráticos do modelo *MJS* para os tipos climáticos brasileiros (*Am*, *Af*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* e *Cwb*). Os valores de ETo estimados com os modelos *MJS* linear e quadrático foram iguais estatisticamente, indicando, pela simplicidade, que o modelo linear é o recomendado para realizar a estimativa a ETo_{MJS} horária. Os coeficientes lineares (“*a*”) médios das estações do ano e período anual ficaram entre $-1,00$ e $0,04 \text{ mm h}^{-1}$, e os coeficiente angulares (“*b*”) entre $-9\text{E}-08$ e $-2\text{E}-08 \text{ mm h}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$;

– A magnitude dos valores das variáveis de entrada no modelo *MJS* ($T_{méd}$ e $UR_{méd}$) e *ASCE* ($T_{méd}$, R_n , Δe e u_2) proporciona descompasso entre as $ETo_{ASCE.h}$ e $ETo_{MJS(\psi_{ar})L.h}$. Em média, há descompasso da $ETo_{MJS(\psi_{ar})L.h}$ em relação à $ETo_{ASCE.h}$ de uma hora para os climas *Am* e *Af* e de duas horas para os climas *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* e *Cwb*. A correção do descompasso do modelo *MJS* ($ETo_{MJS(\psi_{ar})La.h}$) proporcionou melhoria em todos os indicadores estatísticos utilizados para avaliar as associações “ $ETo_{ASCE.h}$ vs $ETo_{MJS(\psi_{ar})La.h}$ ”;

– A magnitude e tendência central da ETo_h horária ao longo do dia dependem do tipo climático. Em média, maiores valores de ETo_h ocorrem entre 15:00 e 17:00 horas nos climas *Cfa* e *Cfb*, e entre as 14:00 e 16:00 horas nos climas *Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cwa* e *Cwb*. Em média, a $ETo_{MJS(\psi_{ar})La.h}$, subestimou 0,19% da $ETo_{ASCE.h}$ entre 14:00 e 20:00 horas (GMT) e subestimou em 0,05% entre 21:00 e 13:00 horas (GMT).

c) Referente à estimativa da ETo horária e diária com modelos adaptados/reduzidos, em função da temperatura:

– Apenas o modelo Penman-Monteith-Reduzido tem precisão para estimar a $ETo_{PMR.h}$ horária em oito dos nove tipos climáticos brasileiros. Os modelos $MJSa.h$ e Turc-Ajustado não são indicados para estimar a ETo , considerando apenas a temperatura do ar como variável de entrada, dos tipos climáticos brasileiros;

– Os modelos Penman-Monteith-Reduzido, $MJS.d$ e Turc não são indicados para estimar a ETo na periodicidade diária tendo apenas a temperatura do ar como variável de entrada. A sua utilização é indicada somente em regiões remotas, em que os dados meteorológicos são de difícil obtenção ou não são confiáveis. O somatório das ETo horárias das 24 horas do dia com os modelos adaptados/reduzidos ($PMR.d_{24}$, $MJS.d_{24}$, $T.d_{24}$) também não é indicada para estimar a ETo diária.

6 REFERÊNCIAS GERAIS

ABEDI-KOUPAI, J.; DORAFSHAN, M.; JAVADI, A.; OSTAD-ALI-ASKARI, K. Estimating potential reference evapotranspiration using time series models (case study: synoptic station of Tabriz in northwestern Iran). **Applied Water Science**. v.12, n.212, p.8. 2022.

ÁLVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. J.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, p.711-728. 2013.

ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Revista Engenharia Agrícola**. v.35, n.1, p.39-50. 2015. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430>.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage**, Roma, FAO, Paper n.56, 1998.

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O.; WRIGHT, J. L.; HOWELL, T. A.; VENTURA, F.; et al. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ET_o by the FAO56 Penman-Monteith method. **Agricultural Water Management**, v.8, n.2, p.1-22. 2006.

ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L. N. Improvement of reference crop evapotranspiration estimates using limited data for the Brazilian Cerrado. **Scientia Agrícola**, v.80, 2023. Doi: <http://doi.org/10.1590/1678-992X-2021-0229>.

ASCE-EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Report of the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. Reston: **Institute of the American Society of Civil Engineers**; 2005.

BANDYOPADHYAY, A.; BHADRA, A.; SWARNAKAR, R. K.; RAGHUWANSHI, N. S.; SINGH, R. Estimation of reference evapotranspiration using a user-friendly decision support system: DSS ET. **Agricultural and Forest Meteorology**. p. 19-29. 2012.

BERENGENA, J.; GAVILÁN, P. Reference Evapotranspiration Estimation in a Highly Advective Semiarid Environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering** v.131, n.2, p.147-163. 2005.

BIJU, A. G.; REDDY, B. R. S.; RAGHUWANSHI, N. S.; WALLENDER, W. W. Decision Support System for Estimating Reference Evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. v. 128, n.1, p. 1-10. 2002.

BORGES, J. 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 Engenharia Agrícola Ambiental**, v.16, n.4, p.380-390, 2012.

BRITO, S. S. B.; CUNHA, A. P. M. A.; CUNNINGHAM, C. C.; ALVALÁ, R. C.; MARENGO, J. A.; CARVALHO, M. A. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**. 2017. DOI:10.1002/joc.5225.

BRÖNNIMANN, S. **Climatic Changes Since 1700**. In: Advances in Global Change Research, v. 55, p. 167-321. Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-19042-6_4.

CAMARGO, A. P. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. 3.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1971. 24p. (Boletim,116).

CAMARGO, A. P. et al. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e super úmidos, com base na amplitude térmica diária. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*.v. 7, n. 2, p.251-257, 1999.

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

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária. Trop.**, Goiânia, v.41, n.3, p.456-465. 2011.

COELHO, J. V. Componentes do ciclo hidrológico e balanço hídrico agrícola provável para a cultura da soja no Estado do Piauí. Curitiba, 2019. 90p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/dissertacao_2019_coelho_j_v.pdf>. Acesso em 05 de setembro de 2023.

CUNHA, F. F.; MAGALHÃES, F. F.; CASTRO, M. A. A; SOUZA, E. J. Performance of estimative models for daily reference evapotranspiration in the city of cassilândia, Brazil. **Engenharia Agrícola**. v.37, n.1, p.173-184, jan./fev. 2017.

DHUNGEL, R.; AIKEN, R.; COLAIZZI, P. D.; LIN, X.; et al. Increased Bias in Evapotranspiration Modeling Due to Weather and Vegetation Indices Data Sources. Published in **Agronomy Journal**, v.3, p.1407-1424. 2019.

DJAMAN, K.; TABARI, H.; BALDE, A. B.; DIOP, L.; FUTAKUCHI, K.; IRMAK, S. Analyses, calibration and validation of evapotranspiration models to predict grassreference evapotranspiration in Senegal River basin. **Journal of Hydrology: Regional studies**, v. 8, p. 82-94. 2016.

DNMET – Departamento Nacional de Meteorologia. 1992. **Normais climatológicas (1961-1990)**. Brasília: Ministério da Agricultura e Reforma

Agrária / Secretaria Nacional de Irrigação / Departamento Nacional de Meteorologia. DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. (Irrigation and drainage paper, 24).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. C. Crop water requirements: guidelines for predicting. **FAO Irrigation and drainage paper** 24. 1977.

EMEKA, N.; IKENNA, O.; OKECHUKWU, M.; CHINENYE, A.; EMMANUEL, E. Sensitivity of FAO Penman-Monteith reference evapotranspiration (ET_o) to climatic variables under different climate types in Nigeria. *Journal of Water and Climate Change*, v. 12, n. 3, p. 858-878, 2021. DOI: 10.2166/wcc.2020.200

EXCEL. Microsoft Office Excel 2010. Disponível em: <<https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft-365/previous-versions/microsoft-excel-2010>>.

FAO ETo Calculator - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. ETo Calculator. Manual (38p) e software Version 3.1. 2009. Land and Water Digital Media Series No 36. Disponível em: <<https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/eto-calculator/en/>>.

FERNANDES, A. L. T.; FRAGA, J. E. F.; TAKAY, B. Y. Avaliação do método Penman-Piche para a estimativa da evapotranspiração de referência em Uberaba, MG. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.15, n.3, p. 270-276, 2011.

FISHER, D. K.; PRINGLE, H. C. Evaluation of alternative methods for estimating reference evapotranspiration. **Agricultural Sciences**. v.4, p. 51-60. 2013. DOI: [10.4236/as.2013.48A008](https://doi.org/10.4236/as.2013.48A008).

GAVILÁN, P.; BERENGENA, J.; ALLEN, R. G. Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: impact on Penman-Monteith reference ET estimates in semiarid regions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.89, n.3, p. 275-286, 2007.

GOMES, A. A. N.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MEDEIROS, R. M. Evaporação de referência mensal para o Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, 9:560-564. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000400019>

GONÇALVES, F. M.; FEITOSA, H. O.; CARVALHO, C. M.; FILHO, R. R. G.; VALMIR JÚNIOR, M. Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v.3, n.2, p.71-77, 2009.

GUO, D.; WESTRA, S.; MAIER, H. R. An R package for modelling actual, potential and reference evapotranspiration. **Environmental Modelling & Software**. v.78, p.216-224, 2016.

GUO, D.; WESTRA, S.; PETERSON, T. Package 'Evapotranspiration'. Uses data and constants to calculate potential evapotranspiration (PET) and actual

evapotranspiration (AET) from 21 different formulations including Penman, Penman-Monteith FAO 56, Priestley-Taylor and Morton formulations. 2022.

GURSKI, B. C.; JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M. Alternative Methods of Reference Evapotranspiration for Brazilian Climate Types. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 567-578, 2018.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v.1, n.2, p.96-99. 1985. DOI:10.13031/2013.26773.

JERSZURKI, D. Dinâmica da água no continuum solo-planta-atmosfera: tópicos em evapotranspiração de referência e disponibilidade de água às plantas. Curitiba, 2016. 151p. **Tese (Doutorado em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo)** - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/tese_2016_jerszurki_d.pdf>. Acesso em 16 de maio de 2023.

JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M.; SILVA, L. C. R. Expanding the geography of evapotranspiration: An improved method to quantify land-to-air water fluxes in tropical and subtropical regions. **PLOS ONE**, v.12, n.6, 2017. DOI:10.1371/journal.pone.0180055.

JI, X. B.; CHENG, J. M.; ZHAO, W. Z.; KANG, E. S.; JIN, B. W.; XU, S. Q. Comparison of hourly and daily Penman-Monteith grass- and alfalfa-reference evapotranspiration equations and crop coefficients for maize under arid climatic conditions. Contents lists available at ScienceDirect. **Agricultural Water Management**, p.1-11. 2017. DOI:10.1016/j.agwat.2017.06.019.192.

KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate**. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Eds): Handbuch der Klimatologie. Berlin: Gebrüder Bornträger, p. 1-44.1936.

LACERDA, Z. C.; TURCO, J. E. P. Estimation methods of reference evapotranspiration (ET_o) for Uberlândia-MG. **Revista Engenharia Agrícola**, v.35, n.1, p.27-38. 2015. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430>

LANDERAS, G.; ORTIZ-BARREDO, A.; LÓPEZ, J. J. Forecasting weekly evapotranspiration with ARIMA and artificial neural network models. **J. Irrig. Drain. Eng.** v. 135, n.3, p.323-334, 2009.

LECINA, S.; MARTINEZ-COB, A.; PEREZ, P. J.; VILLALOBOS, F. G.; BASELGA, J. J. Fixed versus bulk canopy resistance for reference evapotranspiration estimation using the Penman-Monteith equation under semiarid conditions. **Agricultural Water Management**, v.60, n.3, p.181-198. 2003. DOI: 10.1016/S0378-3774(02)00174-9.

LIU, X.; XU, C.; ZHONG, X.; LI, Y.; YUAN, X.; CAO, J. Comparison of 16 models for reference crop evapotranspiration against weighing lysimeter measurement. **Agricultural Water Management**, n.184, p. 145-155. 2017.

LOOSS, B.; VEIGA, S. D.; JANON, A.; PUJOL, G. **Global Sensitivity Analysis of Model Outputs. Package 'sensitivity'**. 2021. URL: < <https://cran.r-project.org/web/packages/sensitivity/sensitivity.pdf> >.

LOPES, I.; LEAL, B. G. Evapotranspiração horária x diária utilizando Penman-Monteith para o polo de desenvolvimento Petrolina-PE/Juazeiro-BA. **Revista Brasileira e Agricultura Irrigada**, v.10, n.5, p. 914-924. 2016.

LÓPEZ-URREA, R.; OLALLA, F. M. S.; FABEIRO, C.; MORATALLA, A. An evaluation of two hourly reference evapotranspiration equations for semiarid conditions. **Agricultural Water Management**, v.86, n.3, p.277-282. 2006.

LUO, Y.; CHANG, X.; PENG, S.; KHAN, S.; WANG, W.; ZHENG, Q.; CAI, X. Short-term forecasting of daily reference evapotranspiration using the Hargreaves-Samani model and temperature forecasts. **Agric Water Manag** v.136, n.3, p.42-51, 2014.

MAKKINK, G, F. Ekzamento de la formulo de Penman. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 5, p. 290-305, 1957.

MEDEIROS, A. T. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraíba, CE. **Tese doutorado**, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Divisão de biblioteca e documentação- ESALQ/USP. 2002.

MCMAHON, T. A.; PEEL, M. C.; LOWE, L.; SRIKANTHAN, R.; MCVICAR, T. R. Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 17, p. 1331-1363. 2013.

MOURA, A. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D. A.; AZEVEDO, J. R. G.; SILVA, B. B.; OLIVEIRA, L. M. M. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no Estado de Pernambuco - Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.2, p.181-191, 2013.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. Simple Linear Regression and Correlation. p. 401-512. 2009. Disponível em: <<http://www.leg.ufpr.br/~walmes/ensino/ce071-2014-01/cap11e12.pdf>> Acesso em 17 de janeiro de 2022.

NOIA, C. P. Z.; PEREIRA, S. B.; ROSA, D. R. Q.; ALMEIDA, R. A. Evapotranspiração de referência estimada pelos métodos Penman-Monteith-FAO (56) e Hargreaves & Samani para o município de Dourados, MS. Dourados, Revista Agrarian, v.7, n.24, p.300-308, 2014. ISSN: 1984-2538.

NOLZ, R.; RODNÝ, M. Evaluation and validation of the ASCE standardized reference evapotranspiration equations for a subhumid site in northeastern Austria. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**. v.67, n.3, p.289-296. 2019.

OLIVEIRA, S. R. Ajuste do método Moretti-Jerszurki-Silva para estimar a evapotranspiração de referência diária e horária dos tipos climáticos brasileiros. **Tese (Doutorado)** - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Curitiba. 2018. Disponível em:

<http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/tese_2018_oliveira_s_r.pdf>. Acesso em 16 de abril de 2023.

PAREDES, P.; PEREIRA, L. S.; ALMOROX, J.; DAROUICH, H. Reference grass evapotranspiration with reduced data sets: Parameterization of the FAO Penman-Monteith temperature approach and the Hargeaves-Samani equation using local climatic variables. **Agricultural Water Management**. v. 240, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106210>

PAREDES, P.; TRIGO, I.; BRUIN, H. de.; SIMÕES, N.; PEREIRA, L. Daily grass reference evapotranspiration with Meteosat Second Generation shortwave radiation and reference ET products. **Agricultural Water Management**, 2021.

PENMAN, H. L. Natural Evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, p.120-145. 1948. Doi:10.1098/rspa.1948.0037.

PSILOVIKOS, A.; ELHAG, M. Forecasting of remotely sensed daily evapotranspiration data over Nile Delta region. **Egypt Water Resour Manage**. v.27, n.12, p.4115-4130, 2013.

RAES, D. The ETo Calculator: Reference Manual, Version 3.1. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Land and Water Division, FAO, via delle Termi di Caracalla, Rome, Italy, p. 38. 2009.

ROCHA, I. P.; LIMA, N. S.; CHAGAS, R. M.; ALMEIDA, G. L. P. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Garanhuns, PE. **Revista GEAMA**. v.1, n.2. 2015.

ROSA, S. L. K. Alternativas para utilização e otimização do método ASCE Penman-Monteith na ausência de dados em quantidade e qualidade. **Tese (Doutorado em Ciência do Solo)**. 151p. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023. Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/publicacoes/tese_2023_rosa_s_l_k.pdf>. Acesso em 16 de abril de 2023.

RStudio Team. **RStudio: Integrated Development for R**. RStudio, PBC, Boston, MA. 2023. URL: <<http://www.rstudio.com/>>.

SANTOS JESUS, E. Avaliação da evapotranspiração na microrregião do Serifó: Uma contribuição metodológica/Edmir dos Santos Jesus. **Tese de doutorado**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-graduação em Ciências Climáticas. Natal, 2014.

SANTOS, A. A.; SOUZA, J. L. M. Desempenho de módulo automático para estimar séries de evapotranspiração de referência diária e horária. **Anais. CONVIBRA**, p. 1-11. 2020.

SANTOS, A. A. **Evapotranspiração de referência horária e diária para o Estado do Paraná**. Curitiba, 2020. 214p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SANTOS, H. F. L.; COSTA, P. V. M.; ARAÚJO, M. L. L.; PIRES, F. O. T. S. B.; REGNIER, L.O. Que fonte de dados meteorológicos utilizar no Brasil? Que incerteza esperar? Uma comparação entre diferentes abordagens e variadas fontes de dados. VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar - Fortaleza, 01 a 05 de junho de 2020. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/754/754>>. Acesso em: 17 de janeiro de 2022.

SANTOS, A. A.; SOUZA, J. L. M.; ROSA, S. L. K. Hourly and Daily Reference Evapotranspiration with ASCE-PM Model for Paraná State, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**. 2021a. ISSN 1982-4351. <https://doi.org/10.1590/0102-77863610009>

SANTOS, A. A.; SOUZA, J. L. M.; ROSA, S. L. K. Evapotranspiration with the Moretti-Jerszurki-Silva model for the Brazilian sub-tropical climate. **Hydrological Sciences Journal**, v. 66, n. 16, p. 1-13, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1988610>

SHWETHA, H. R.; KUMAR, D. N. Performance evaluation of satellite based approaches for the estimation of daily air temperature and reference evapotranspiration. *Hydrological Science Journal*. v.63, n.9, p. 1347-1367. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1505046>

SIEFERT, C. A. C.; NETTO, N. D.; MARANGON, F. H. S.; SCHULTZ, G. B.; SILVA, L. M. R.; FONTELELLA, T. H.; SANTOS, I. Avaliação de Séries de Velocidade do Vento de Produtos de Reanálises Climáticas para o Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, n. 4, 689 701, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778636002>

SILVA, D. P. Associação espaço-temporal de variáveis meteorológicas com técnicas de sensoriamento remoto para estimativa da evapotranspiração. Curitiba, 2021. 173p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SILVA, D.; MEZA, F. J.; VARAS, E. Estimating reference evapotranspiration (ET_o) using numerical weather forecast data in central Chile. **J Hydrol**. v.382, n.1-4, p.64-71, 2010.

SOUSA, J. S. C. Procal_ET_o: programa computacional para cálculo da ET_o pelo método de Penman-Monteith. **Irriga, Botucatu**, Edição Especial, p. 380 - 395, 2012

SOUZA, J. L. M; OLIVEIRA, S. R. ROSA, S. L.; JERSZURKI, D. Hourly reference evapotranspiration by Moretti-Jerszurki-Silva method using data from alternative station. **Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**.

v.25, n.8, p.505-513. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n8p505-513>

SOUZA, J. L. M.; JERSZURKI, D.; SCHAFER, R. F.; GURSKI, B. C.; SCHAFER, H. Balanço hídrico climatológico: precipitação e evapotranspiração de referência estimadas com metodologia alternativa. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, n. 13, p. 284-298, 2017.

SUBEDI, A.; CHÁVEZ, J. L.; ANDALES, A. A. Hourly Alfalfa Evapotranspiration Estimation Using Variable Bulk Surface Resistance. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 10, 2019. 12p.

TANAKA, A. A.; SOUZA, A. P.; KLAR, A. E.; SILVA, A. C.; GOMES, A. W. A. Evapotranspiração de referência estimada por modelos simplificados para o Estado do Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.51, n.2, p.91-104. 2016.

TANGUNE, B. F. Evapotranspiração de referência no estado de São Paulo: métodos empíricos, aprendizado de máquina e geoespacial / Bartolomeu Félix Tangune. - 1982- T164e. Botucatu: [s.n.],2017. **Tese** (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. 2017.

TEGOS, A.; MALAMOS, N.; EFSTRATIADIS, A.; TSOUKALAS, I.; KARANASIOS, A.; KOUTSOYIANNIS, D. Parametric Modelling of Potential Evapotranspiration: A Global Survey. **Water**, 9 (795), p.1-22, 2017. DOI: 10.3390/w9100795

TIAN, D. I.; MARTINEZ, C. J. Forecasting reference evapotranspiration using retrospective forecast analogs in the southeastern United States. **J Hydrometeorol** v.13, n.6, p.1874-1892, 2012.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, Nova Iorque, v.38, n.1, p.55-94. 1948.

TRAJKOVIC, S. Comparison of Radial Basis Function Networks and Empirical Equations for Converting from Pan Evaporation to Reference Evapotranspiration. **Hydrological Processes**, v.23, n.6, p.874-880. 2009.

TRAN, A. P.; RUNGEE, J.; FAYBISHENKO, B.; DAFFLON, B.; HUBBARD, S. S. Assessment of Spatiotemporal Variability of Evapotranspiration and Its Governing Factors in a Mountainous Watershed. *Water* v. 11, 2019, 11, 17p.

TREDER, W.; KLAMKOWSKI, K. An hourly reference evapotranspiration model as a tool for estimating plant water requirements. Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie. **Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich infrastructure and ecology of rural areas**, v.2, n. 1, p.469-481. 2017. DOI: 10.14597/infraeco.2017.2.1.035.

TURC L. Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date. *Annals of Agronomy*. 1961. v.12, p.13-49.

TURKMAN, M. A. A.; SILVA, G. L. Modelos lineares generalizados: da teoria à prática. Minicurso do VII Congresso anual da Sociedade Portuguesa de Estatística. 2020. Disponível em: <<https://www.spestatistica.pt/publicacoes/publicacao/modelos-lineares-generalizados-da-teoria-pratica>>. Acesso em: 17 de janeiro de 2021.

VALLADARES NETO, J.; SANTOS, C. B.; TORRES, E. M.; ESTRELA, C. Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos. **Revista Odontologia Brasileira Central**. v.26, n.76, p.1-6. 2017.

VÁSQUEZ, C.; CÉLLERI, R.; CÓRDOVA, M.; CARRILLO-ROJAS, G.; CARRILLO-ROJAS, G. Improving reference evapotranspiration (ET_o) calculation under limited data conditions in the high Tropical Andes. *Agricultural Water Management*, v. 262, 107439, 2022. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107439

VENTURA, F.; SPANO, D.; DUCE, P.; SNYDER, R. L. An evaluation of common evapotranspiration equations. **Irrigation Science**, v.18, p.163-170. 1999.

WEIB, M.; MENZEL, L. A global comparison of four potential evapotranspiration equations and their relevance to stream flow modelling in semi-arid environments. Published by Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union. **Adv. Geosci.**, v.18, p.15-23. 2008.

WICKHAM, H.; CHANG, W.; HENRY, L.; PEDERSEN, T. L.; TAKAHASHI, K.; WILKE, C.; WOO, K.; YUTANI, H.; DUNNINGTON, D. **Ggplot2: Create Elegant Data Visualizations Using the Grammar of Graphics**. R em interface RStudio, PBC, Boston, MA. 2022. URL: <https://ggplot2.tidyverse.org/>

YILDIRIM, Y. E.; CAKMAK, B.; KOSE, T. Comparison of hourly and daily reference evapotranspiration values for GAP project area. **Journal of Applied Sciences**, v.4, n. 1, p.53-57. 2004.

YIN, Y.; WU, S.; DU, Z.; QUINYE, Y. Radiation calibration of FAO56 Penman-Monteith model to estimate reference crop evapotranspiration in China. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 1, p. 77-84, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.09.002>

ZAMBRANO-BIGIARINI, M. 2020. **hydroGOF: Goodness-of-fit functions for comparison of simulated and observed hydrological time series**. R package Version 0.3-10. URL:< <https://github.com/hzambran/hydroGOF> >.

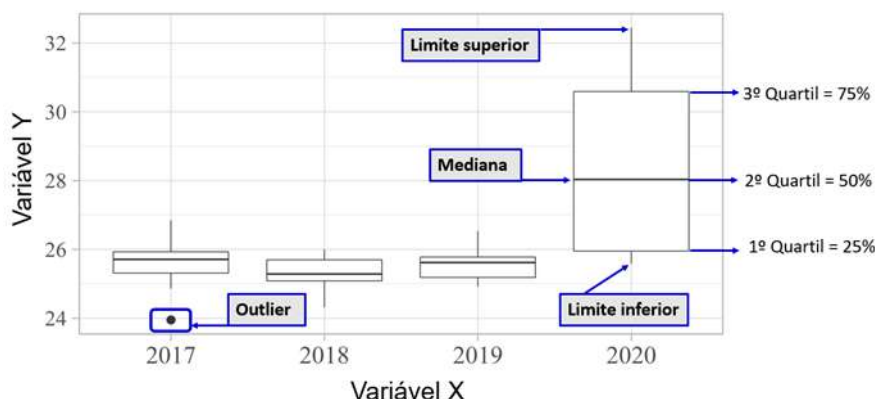
APÊNDICE 1 – APLICAÇÃO DE CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

As variáveis utilizadas e analisadas foram: radiação solar incidente (R_s); temperatura média do ar ($T_{méd}$); umidade relativa média do ar ($UR_{méd}$); e velocidade média do vento a 10 metros de altura (u_{10}). Os dados utilizados compreenderam o período entre 01/01/2017 e 31/12/2020. A seleção dos dados iniciou-se com a verificação do limite de falhas em 25% (Tabela A1.2), bem como adotou-se critério de que as falhas existentes (menores de 25%) não poderiam afetar períodos estacionais (Figuras A1.3 a A1.10) e média horária do período de validação (01/01/2019 a 31/12/2020). A qualidade dos dados de cada estação meteorológica selecionada foi verificada conforme análise anual (2017; 2018; 2019 e 2020), no *boxplot*.

O *boxplot* foi utilizado pela primeira vez pelo matemático Tukey (1970), tornando-se método amplamente divulgado com a sua publicação formal em Tukey (1977). John W. Tukey desenvolveu o *boxplot* para sumarizar a análise exploratória de dados, sendo um recurso gráfico que resume os dados, exibindo mediana, quartis e valores máximos e mínimos. A metodologia *boxplot* é usado regularmente na pesquisa científica, havendo modificações na forma de apresentação dos dados e informações conforme a necessidade dos pesquisadores (Valladares Neto et al., 2017).

O *boxplot* permite a disposição visual dos dados conforme três quartis (Q1, Q2 e Q3; Figura A1.11 a A1.19). Nas extremidades, representados por uma linha (bigodes), estão os limites superior e inferior, que compreendem 99% dos valores dos dados. A leitura dos quartis é realizada considerando que 25% dos valores do conjunto de dados encontram-se no intervalo Q1, 50% em Q2 e 75% em Q3.

FIGURA A1.1– GRANDEZAS APRESENTADAS NA ANÁLISES *BOXPLOT*: TRÊS QUARTIS COM SUAS RESPECTIVAS PORCENTAGENS, LIMITES SUPERIOR E INFERIOR, MEDIANA E *OUTLIER*.



Fonte: O autor (2024).

No presente estudo, a amplitude interquartílica (A/Q) foi verificada considerando a altura das caixas, ou seja, valor K do $Q3$ menos K do $Q1$. O limite superior foi estabelecido considerando a soma entre a valor K do $Q3$ com valor A/Q , multiplicado por 1,5 (constante “ c ” que permite considerar 99% dos valores prováveis). O limite inferior foi estabelecido fazendo-se a diferença entre o valor K do $Q1$ com A/Q , multiplicado por “ c ”. A posição (K) dos quartis foi definida conforme as equações dispostas na TABELA A1.1, considerando método inclusivo (em que o valor determinado pertence ao intervalo) e se o número de dados (n) é par ou ímpar. Pontos plotados fora dos limites foram considerados *outliers*, ou seja, atípicos ao conjunto de dados. Desta forma, as estações que apresentaram *outliers* para algum período também foram excluídas do banco de dados (TABELA A1.2; FIGURAS A1.11 a A1.19).

TABELA A1.1 – EQUAÇÕES UTILIZADAS PARA DEFINIR A POSIÇÃO DOS QUARTIS.

----- Para n par -----		----- Para n ímpar -----		Q2
Q1	Q3	Q1	Q3	
$K = \frac{n + 2}{4}$	$K = \frac{3 \cdot n + 2}{4}$	$K = \frac{n + 3}{4}$	$K = \frac{3 \cdot n + 1}{4}$	$K = \frac{n + 1}{2}$

Sendo: Q1, Q2, Q3 e Q4 – Quartis 1, 2, 3 e 4, respectivamente; K – Valor de início do quartil; n – número de dados que compõe o banco da variável analisada.

Após seleção dos dados também foi realizada análise de média horária por estação e climas, para possibilitar melhor visualização das tendências centrais das variáveis ao longo das 24 horas do dia (FIGURAS A1.20 a A1.28).

TABELA A1.2 – ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS PERTENCENTES AO INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (168 ESTAÇÕES), NOS CLIMAS BRASILEIROS *Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa* E *Cwb*, SELECIONADAS CONSIDERANDO OS CRITÉRIOS: PORCENTAGEM DE DADOS FALTANTES, FALHA ESTACIONAL, PRESENÇA DE *OUTLIERS* E RESULTADO FINAL QUANTO USO DA ESTAÇÃO AVALIADA (DADOS HORÁRIOS AVALIADOS: TEMPERATURA MÉDIA DO AR, UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR, RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE E VELOCIDADE DO VENTO A 10 m DE ALTURA, PARA O PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020).

N	Estação	Clima	Horas	Horas presentes	Porcentagem faltantes	Exclusão >25%	Falha estacional	<i>Outlier</i>	Falha horária	Resultado
1	Cruzeiro do Sul	<i>Af</i>	35064	26649	24%	Não	Não	Não	Não	Usar
2	Barcelos	<i>Af</i>	35064	4067	88%	Sim	—	—	—	Não usar
3	Coari	<i>Af</i>	35064	20296	42%	Sim	—	—	—	Não usar
4	Eirunepé	<i>Af</i>	35064	10187	71%	Sim	—	—	—	Não usar
5	Itacoatiara	<i>Af</i>	35064	28464	19%	Não	Não	Não	Não	Usar
6	Manaus	<i>Af</i>	35064	28391	19%	Não	Sim	Não	Não	Não usar
7	Parintins	<i>Af</i>	35064	0	100%	Sim	—	—	—	Não usar
8	S. da Cachoeira	<i>Af</i>	35064	16297	54%	Sim	—	—	—	Não usar
9	Caravelas	<i>Af</i>	35064	29392	16%	Não	Sim	—	—	Não usar
10	Belém	<i>Af</i>	35064	34485	2%	Não	Não	Não	Não	Usar
11	Cruz das almas	<i>Af</i>	35064	29083	17%	Não	Não	Não	Não	Usar
12	Salvador	<i>Af</i>	35064	35029	0%	Não	Não	Não	Não	Usar
13	Rio Branco	<i>Am</i>	35064	13468	62%	Sim	—	—	—	Não usar
14	Maceió	<i>Am</i>	35064	29608	16%	Não	Sim	—	—	Não usar
15	Lábrea	<i>Am</i>	35064	21940	37%	Sim	—	—	—	Não usar
16	Manicoré	<i>Am</i>	35064	8621	75%	Sim	—	—	—	Não usar
17	Macapá	<i>Am</i>	35064	29922	15%	Não	Não	Não	Não	Usar
18	Vitória	<i>Am</i>	35064	29504	16%	Não	Não	Não	Não	Usar
19	Turiaçu	<i>Am</i>	35064	26011	26%	Sim	—	—	—	Não usar
20	Zé Doca	<i>Am</i>	35064	0	100%	Sim	—	—	—	Não usar
21	Altamira	<i>Am</i>	35064	0	100%	Sim	—	—	—	Não usar
22	Itaituba	<i>Am</i>	35064	26662	24%	Não	Sim	—	—	Não usar
23	Monte Alegre	<i>Am</i>	35064	26159	25%	Sim	—	—	—	Não usar
24	Óbidos	<i>Am</i>	35064	0	100%	Sim	—	—	—	Não usar
25	São Felix do	<i>Am</i>	35064	25637	27%	Sim	—	—	—	Não usar
26	Tucuruí	<i>Am</i>	35064	20922	40%	Sim	—	—	—	Não usar

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: TABELA A1.2 – ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS PERTENCENTES AO INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (168 ESTAÇÕES), NOS CLIMAS BRASILEIROS *Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa* E *Cwb*, SELECIONADAS CONSIDERANDO OS CRITÉRIOS: PORCENTAGEM DE DADOS FALTANTES, FALHA ESTACIONAL, PRESENÇA DE *OUTLIERS* E RESULTADO FINAL QUANTO USO DA ESTAÇÃO AVALIADA (DADOS HORÁRIOS AVALIADOS: TEMPERATURA MÉDIA DO AR, UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR, RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE E VELOCIDADE DO VENTO A 10 m DE ALTURA, PARA O PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020).

N	Estação	Clima	Horas	Horas presentes	Porcentagem faltantes	Exclusão >25%	Falha estacional	<i>Outlier</i>	Falha horária	Resultado
27	Recife	<i>Am</i>	35064	22334	36%	Sim	—	—	—	Não usar
28	Rio de Janeiro	<i>Am</i>	35064	34486	2%	Não	Não	Não	Não	Usar
29	Boa Vista	<i>Am</i>	35064	30628	13%	Não	Sim	—	—	Não usar
30	Bom Jesus	<i>As</i>	35064	32186	8%	Não	Não	Não	Não	Usar
31	Feira de S.	<i>As</i>	35064	31308	11%	Não	Não	Não	Não	Usar
32	Itiruçu	<i>As</i>	35064	32720	7%	Não	Não	Não	Não	Usar
33	Sr. do Bonfim	<i>As</i>	35064	33788	4%	Não	Não	Não	Não	Usar
34	Serrinha	<i>As</i>	35064	33119	6%	Não	Não	Não	Não	Usar
35	Barbalha	<i>As</i>	35064	29799	15%	Não	Não	Não	Não	Usar
36	Crateús	<i>As</i>	35064	32689	7%	Não	Não	Não	Não	Usar
37	Fortaleza	<i>As</i>	35064	32497	7%	Não	Não	Não	Não	Usar
38	Guaramiranga	<i>As</i>	35064	24927	29%	Sim	—	—	—	Não usar
39	Iguatu	<i>As</i>	35064	27616	21%	Não	Sim	—	—	Não usar
40	Jaguaruana	<i>As</i>	35064	32735	7%	Não	Não	Sim	—	Não usar
41	Morada	<i>As</i>	35064	31978	9%	Não	Não	Não	Não	Usar
42	Sobral	<i>As</i>	35064	26728	24%	Não	Não	Não	Sim	Não usar
43	Araçuaí	<i>As</i>	35064	23341	33%	Sim	—	—	—	Não usar
44	Espinosa	<i>As</i>	35064	19292	45%	Sim	—	—	—	Não usar
45	Janaúba	<i>As</i>	35064	31294	11%	Não	Não	Não	Não	Usar
46	Montes Claros	<i>As</i>	35064	35056	0%	Não	Não	Não	Não	Usar
47	Salinas	<i>As</i>	35064	32668	7%	Não	Não	Não	Não	Usar
48	Areia	<i>As</i>	35064	32878	6%	Não	Não	Não	Não	Usar
49	Campina Grande	<i>As</i>	35064	32725	7%	Não	Não	Não	Não	Usar
50	João Pessoa	<i>As</i>	35064	29221	17%	Não	Não	Não	Não	Usar
51	São Gonçalo	<i>As</i>	35064	34496	2%	Não	Não	Não	Não	Usar
52	Arcoverde	<i>As</i>	35064	33587	4%	Não	Não	Não	Não	Usar
53	Garanhuns	<i>As</i>	35064	29534	16%	Não	Não	Sim	—	Não usar

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: TABELA A1.2 – ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS PERTENCENTES AO INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (168 ESTAÇÕES), NOS CLIMAS BRASILEIROS *Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa* E *Cwb*, SELECIONADAS CONSIDERANDO OS CRITÉRIOS: PORCENTAGEM DE DADOS FALTANTES, FALHA ESTACIONAL, PRESENÇA DE *OUTLIERS* E RESULTADO FINAL QUANTO USO DA ESTAÇÃO AVALIADA (DADOS HORÁRIOS AVALIADOS: TEMPERATURA MÉDIA DO AR, UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR, RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE E VELOCIDADE DO VENTO A 10 m DE ALTURA, PARA O PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020).

N	Estação	Clima	Horas	Horas presentes	Porcentagem faltantes	Exclusão >25%	Falha estacional	<i>Outlier</i>	Falha horária	Resultado
54	Surubim	<i>As</i>	35064	31062	11%	Não	Não	Não	Não	Usar
55	Parnaíba	<i>As</i>	35064	29574	16%	Não	Sim	—	—	Não usar
56	Piripiri	<i>As</i>	35064	24182	31%	Sim	—	—	—	Não usar
57	Apodi	<i>As</i>	35064	30621	13%	Não	Não	Sim	—	Não usar
58	Natal	<i>As</i>	35064	34019	3%	Não	Não	Não	Não	Usar
59	Itabaianinha	<i>As</i>	35064	20154	43%	Sim	—	—	—	Não usar
60	Palmeira dos Índios	<i>As</i>	35064	28595	18%	Não	Não	Não	Não	Usar
61	Barra	<i>Aw</i>	35064	33709	4%	Não	Não	Não	—	Usar
62	Barreiras	<i>Aw</i>	35064	33527	4%	Não	Não	Não	—	Usar
63	Correntina	<i>Aw</i>	35064	30792	12%	Não	Não	Não	—	Usar
64	Lençóis	<i>Aw</i>	35064	34250	2%	Não	Não	Não	—	Usar
65	Brasília	<i>Aw</i>	35064	34998	0%	Não	Não	Não	—	Usar
66	São Mateus	<i>Aw</i>	35064	33696	4%	Não	Sim	—	—	Não usar
67	Aragarças	<i>Aw</i>	35064	0	100%	Sim	Não	Não	—	Não usar
68	Catalão	<i>Aw</i>	35064	33328	5%	Não	Sim	—	—	Não usar
69	Goiânia	<i>Aw</i>	35064	35016	0%	Não	Não	Não	—	Usar
70	Goiás	<i>Aw</i>	35064	33210	5%	Não	Sim	—	—	Não usar
71	Jataí	<i>Aw</i>	35064	32336	8%	Não	Não	Não	—	Usar
72	Posse	<i>Aw</i>	35064	31304	11%	Não	Não	Não	—	Usar
73	Rio Verde	<i>Aw</i>	35064	25998	26%	Sim	Não	Não	—	Não usar
74	Alto Paraíso	<i>Aw</i>	35064	25707	27%	Sim	Não	Não	—	Não usar
75	Bacabal	<i>Aw</i>	35064	31058	11%	Não	Não	Não	—	Usar
76	Balsas	<i>Aw</i>	35064	29201	17%	Não	Sim	Não	—	Não usar
77	Carolina	<i>Aw</i>	35064	33424	5%	Não	Não	Não	—	Usar
78	Caxias	<i>Aw</i>	35064	32703	7%	Não	Sim	Não	—	Não usar

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: TABELA A1.2 – ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS PERTENCENTES AO INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (168 ESTAÇÕES), NOS CLIMAS BRASILEIROS *Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa* E *Cwb*, SELECIONADAS CONSIDERANDO OS CRITÉRIOS: PORCENTAGEM DE DADOS FALTANTES, FALHA ESTACIONAL, PRESENÇA DE *OUTLIERS* E RESULTADO FINAL QUANTO USO DA ESTAÇÃO AVALIADA (DADOS HORÁRIOS AVALIADOS: TEMPERATURA MÉDIA DO AR, UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR, RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE E VELOCIDADE DO VENTO A 10 m DE ALTURA, PARA O PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020).

N	Estação	Clima	Horas	Horas presentes	Porcentagem faltantes	Exclusão >25%	Falha estacional	<i>Outlier</i>	Falha horária	Resultado
79	Chapadinha	<i>Aw</i>	35064	0	100%	Sim	Não	Não	—	Não usar
80	Colinas	<i>Aw</i>	35064	32138	8%	Não	Não	Não	—	Usar
81	Imperatriz	<i>Aw</i>	35064	34621	1%	Não	Não	Não	—	Usar
82	São Luís	<i>Aw</i>	35064	33420	5%	Não	Não	Sim	—	Não usar
83	Aimorés	<i>Aw</i>	35064	23393	33%	Sim	Não	Não	—	Não usar
84	Belo Horizonte	<i>Aw</i>	35064	30416	13%	Não	Não	Não	—	Usar
85	Januária	<i>Aw</i>	35064	31716	10%	Não	Não	Não	—	Usar
86	João Pinheiro	<i>Aw</i>	35064	34017	3%	Não	Não	Não	—	Usar
87	Pirapora	<i>Aw</i>	35064	33823	4%	Não	Não	Não	—	Usar
88	Corumbá	<i>Aw</i>	35064	27117	23%	Não	Não	Sim	—	Não usar
89	Ivinhema	<i>Aw</i>	35064	29485	16%	Não	Não	Não	—	Usar
90	Nhumirim	<i>Aw</i>	35064	24853	29%	Sim	Não	Não	—	Não usar
91	Paranaíba	<i>Aw</i>	35064	25907	26%	Sim	Não	Não	—	Não usar
92	Cáceres	<i>Aw</i>	35064	27611	21%	Não	Não	Não	—	Usar
93	Cuiabá	<i>Aw</i>	35064	30387	13%	Não	Não	Sim	—	Não usar
94	Rondonópolis	<i>Aw</i>	35064	32022	9%	Não	Não	Não	—	Usar
95	São Jose do Rio Claro	<i>Aw</i>	35064	18999	46%	Sim	Não	Não	—	Não usar
96	Bom Jesus do Piauí	<i>Aw</i>	35064	31792	9%	Não	Não	Não	—	Usar
97	Caracol	<i>Aw</i>	35064	29526	16%	Não	Não	Não	—	Usar
98	Florianópolis	<i>Aw</i>	35064	26931	23%	Não	Sim	Não	—	Não usar
99	Teresina	<i>Aw</i>	35064	30585	13%	Não	Não	Não	—	Usar
100	Alvorada do Gurgueia	<i>Aw</i>	35064	0	100%	Sim	—	—	—	Não usar
101	Votuporanga	<i>Aw</i>	35064	34114	3%	Não	Não	Não	—	Usar
102	Araguaína	<i>Aw</i>	35064	29512	16%	Não	Sim	Não	—	Não usar

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: TABELA A1.2 – ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS PERTENCENTES AO INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (168 ESTAÇÕES), NOS CLIMAS BRASILEIROS *Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa* E *Cwb*, SELECIONADAS CONSIDERANDO OS CRITÉRIOS: PORCENTAGEM DE DADOS FALTANTES, FALHA ESTACIONAL, PRESENÇA DE *OUTLIERS* E RESULTADO FINAL QUANTO USO DA ESTAÇÃO AVALIADA (DADOS HORÁRIOS AVALIADOS: TEMPERATURA MÉDIA DO AR, UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR, RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE E VELOCIDADE DO VENTO A 10 m DE ALTURA, PARA O PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020).

N	Estação	Clima	Horas	Horas presentes	Porcentagem faltantes	Exclusão >25%	Falha estacional	<i>Outlier</i>	Falha horária	Resultado
103	Palmas	<i>Aw</i>	35064	34396	2%	Não	Não	Não	—	Usar
104	Pedro	<i>Aw</i>	35064	34204	2%	Não	Não	Não	—	Usar
105	Marabá	<i>Am</i>	35064	28553	19%	Não	Não	Não	—	Usar
106	Peixe	<i>Aw</i>	35064	28186	20%	Não	Sim	Não	—	Não usar
107	Pão de Açúcar	<i>BSh</i>	35064	26041	26%	Sim	—	—	—	Não usar
108	Irecê	<i>BSh</i>	35064	34282	2%	Não	Não	Não	—	Usar
109	Itaberaba	<i>BSh</i>	35064	33404	5%	Não	Não	Não	—	Usar
110	Jacobina	<i>BSh</i>	35064	29461	16%	Não	Sim	Não	—	Não usar
111	Remanso	<i>BSh</i>	35064	34001	3%	Não	Não	Não	—	Usar
112	Campos Sales	<i>BSh</i>	35064	23917	32%	Sim	—	—	—	Não usar
113	Quixeramobim	<i>BSh</i>	35064	25463	27%	Sim	—	—	—	Não usar
114	Tauá	<i>BSh</i>	35064	31054	11%	Não	Sim	Não	—	Não usar
115	Monteiro	<i>BSh</i>	35064	32803	6%	Não	Não	Não	—	Usar
116	Patos	<i>BSh</i>	35064	32786	6%	Não	Não	Sim	—	Não usar
117	Cabrobó	<i>BSh</i>	35064	32718	7%	Não	Não	Não	—	Usar
118	Ouricuri	<i>BSh</i>	35064	28976	17%	Não	Não	Não	—	Usar
119	Petrolina	<i>BSh</i>	35064	32672	7%	Não	Não	Não	—	Usar
120	Paulistana	<i>BSh</i>	35064	32737	7%	Não	Não	Não	—	Usar
121	Picos	<i>BSh</i>	35064	26761	24%	Não	Sim	Não	—	Não usar
122	São João do Piauí	<i>BSh</i>	35064	19678	44%	Sim	—	—	—	Não usar
123	Macau	<i>BSh</i>	35064	28411	19%	Não	Não	Não	—	Usar
124	Seridó	<i>BSh</i>	35064	0	100%	Sim	—	—	—	Não usar
125	Vitória da Conquista	<i>Cfa</i>	35064	32644	7%	Não	Não	Não	—	Usar
126	Ponta Porã	<i>Cfa</i>	35064	26194	25%	Não	Sim	—	—	Não usar
127	Maringá	<i>Cfa</i>	35064	33669	4%	Não	Não	Não	—	Usar

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: TABELA A1.2 – ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS PERTENCENTES AO INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (168 ESTAÇÕES), NOS CLIMAS BRASILEIROS *Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa* E *Cwb*, SELECIONADAS CONSIDERANDO OS CRITÉRIOS: PORCENTAGEM DE DADOS FALTANTES, FALHA ESTACIONAL, PRESENÇA DE *OUTLIERS* E RESULTADO FINAL QUANTO USO DA ESTAÇÃO AVALIADA (DADOS HORÁRIOS AVALIADOS: TEMPERATURA MÉDIA DO AR, UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR, RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE E VELOCIDADE DO VENTO A 10 m DE ALTURA, PARA O PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020).

N	Estação	Clima	Horas	Horas presentes	Porcentagem faltantes	Exclusão >25%	Falha estacional	<i>Outlier</i>	Falha horária	Resultado
128	Bagé	<i>Cfa</i>	35064	31819	9%	Não	Não	Não	—	Usar
129	Bento Gonçalves	<i>Cfa</i>	35064	32847	6%	Não	Não	Não	—	Usar
130	Cruz Alta	<i>Cfa</i>	35064	33407	5%	Não	Não	Sim	—	Não usar
131	Encruzilhada	<i>Cfa</i>	35064	0	100%	Sim	—	—	—	Não usar
132	Porto Alegre	<i>Cfa</i>	35064	34088	3%	Não	Não	Não	—	Usar
133	Rio Grande	<i>Cfa</i>	35064	33679	4%	Não	Não	Não	—	Usar
134	Santa Maria	<i>Cfa</i>	35064	23224	34%	Sim	—	—	—	Não usar
135	Santana do Livramento	<i>Cfa</i>	35064	29904	15%	Não	Sim	—	—	Não usar
136	São Luiz Gonzaga	<i>Cfa</i>	35064	33687	4%	Não	Não	Sim	—	Não usar
137	Torres	<i>Cfa</i>	35064	30657	13%	Não	Não	Sim	—	Não usar
138	Uruguaiana	<i>Cfa</i>	35064	29687	15%	Não	Não	Não	—	Usar
139	Chapecó	<i>Cfa</i>	35064	0	100%	Sim	-	-	—	Não usar
140	Florianópolis	<i>Cfa</i>	35064	35046	0%	Não	Não	Não	—	Usar
141	Indaial	<i>Cfa</i>	35064	32898	6%	Não	Não	Não	—	Usar
142	Urussanga	<i>Cfa</i>	35064	24922	29%	Sim	-	-	—	Não usar
143	Castro	<i>Cfb</i>	35064	35046	0%	Não	Não	Não	—	Usar
144	Curitiba	<i>Cfb</i>	35064	21836	38%	Sim	—	—	—	Não usar
145	Ivaí	<i>Cfb</i>	35064	33287	5%	Não	Não	Não	—	Usar
146	Lagoa Vermelha	<i>Cfb</i>	35064	34834	1%	Não	Não	Não	—	Usar
147	Passo Fundo	<i>Cfb</i>	35064	33810	4%	Não	Não	Não	—	Usar
148	Campos	<i>Cfb</i>	35064	0	100%	Sim	—	—	—	Não usar
149	Lages	<i>Cfb</i>	35064	29442	16%	Não	Não	Não	—	Usar
150	São Joaquim	<i>Cfb</i>	35064	34901	0%	Não	Não	Não	—	Usar

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: TABELA A1.2 – ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS PERTENCENTES AO INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (168 ESTAÇÕES), NOS CLIMAS BRASILEIROS *Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa* E *Cwb*, SELECIONADAS CONSIDERANDO OS CRITÉRIOS: PORCENTAGEM DE DADOS FALTANTES, FALHA ESTACIONAL, PRESENÇA DE *OUTLIERS* E RESULTADO FINAL QUANTO USO DA ESTAÇÃO AVALIADA (DADOS HORÁRIOS AVALIADOS: TEMPERATURA MÉDIA DO AR, UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR, RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE E VELOCIDADE DO VENTO A 10 m DE ALTURA, PARA O PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020).

N	Estação	Clima	Horas	Horas presentes	Porcentagem faltantes	Exclusão >25%	Falha estacional	<i>Outlier</i>	Falha horária	Resultado
151	Campos do Jordão	<i>Cfb</i>	35064	13816	61%	Sim	—	—	—	Não usar
152	São Paulo	<i>Cfb</i>	35064	33221	5%	Não	Não	Não	—	Usar
153	Bambuí	<i>Cwa</i>	35064	34594	1%	Não	Não	Não	—	Usar
154	Caratinga	<i>Cwa</i>	35064	28836	18%	Não	Sim	-	—	Não usar
155	Curvelo	<i>Cwa</i>	35064	34131	3%	Não	Não	Não	—	Usar
156	Divinópolis	<i>Cwa</i>	35064	32634	7%	Não	Não	Não	—	Usar
157	Florestal	<i>Cwa</i>	35064	34688	1%	Não	Não	Não	—	Usar
158	Patos de Minas	<i>Cwa</i>	35064	29491	16%	Não	Não	Não	—	Usar
159	Resende	<i>Cwa</i>	35064	34346	2%	Não	Não	Não	—	Usar
160	São Carlos	<i>Cwa</i>	35064	31212	11%	Não	Não	Não	—	Usar
161	Taubaté	<i>Cwa</i>	35064	33837	3%	Não	Não	Não	—	Usar
162	Araxá	<i>Cwb</i>	35064	34879	1%	Não	Não	Não	—	Usar
163	Barbacena	<i>Cwb</i>	35064	25962	26%	Sim	—	—	—	Não usar
164	Diamantina	<i>Cwb</i>	35064	34166	3%	Não	Não	Não	—	Usar
165	Ibirité	<i>Cwb</i>	35064	34931	0%	Não	Não	Não	—	Usar
166	Juiz de Fora	<i>Cwb</i>	35064	34298	2%	Não	Não	Sim	—	Não usar
167	Machado	<i>Cwb</i>	35064	29354	16%	Não	Sim	—	—	Não usar
168	Mocimbo	<i>Cwb</i>	35064	34647	1%	Não	Não	Não	—	Usar

Fonte: O autor (2024).

FIGURA A1.2 – FALHAS VERIFICAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA Af, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).

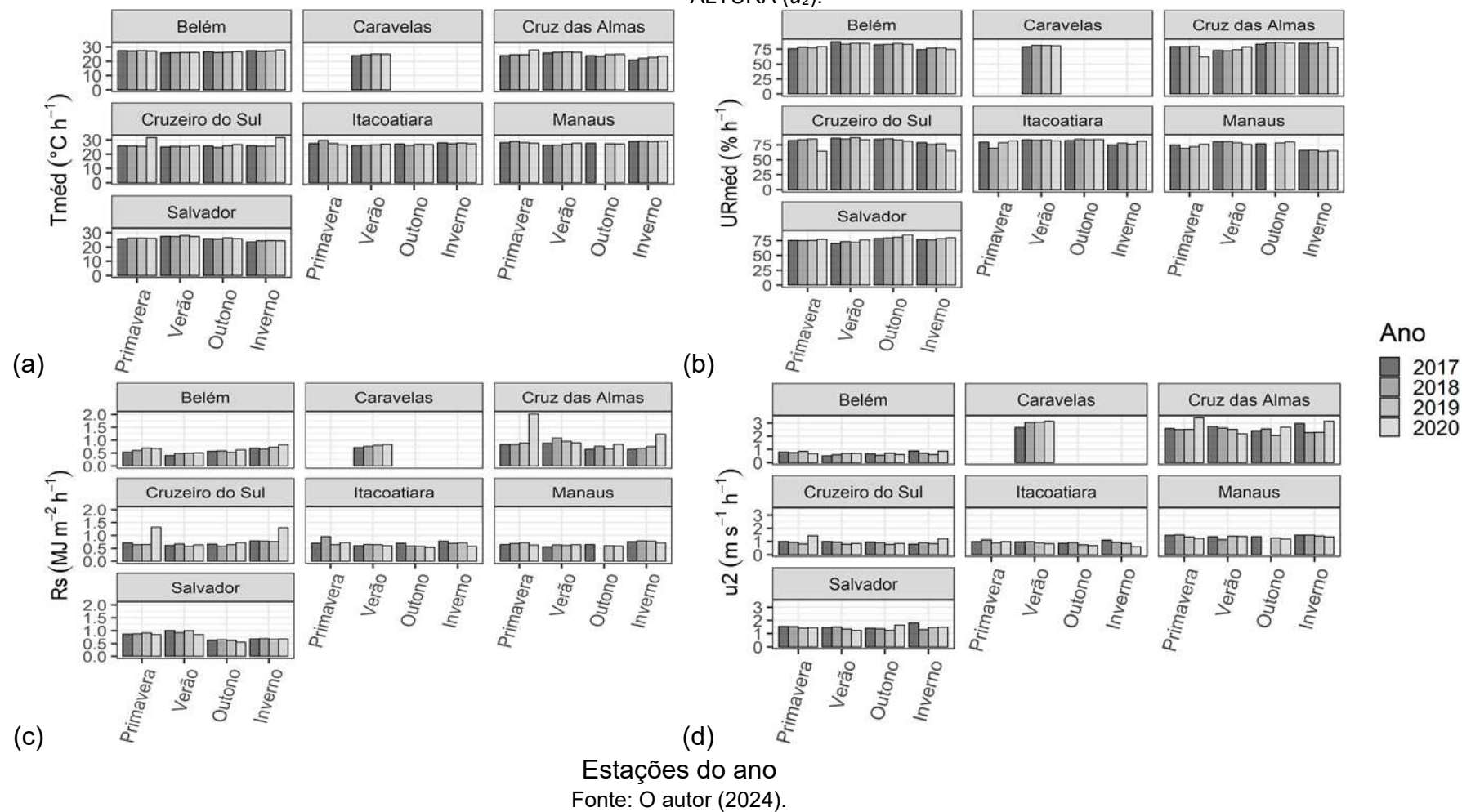


FIGURA A1.3 – FALHAS VERIFICADAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA Am, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).

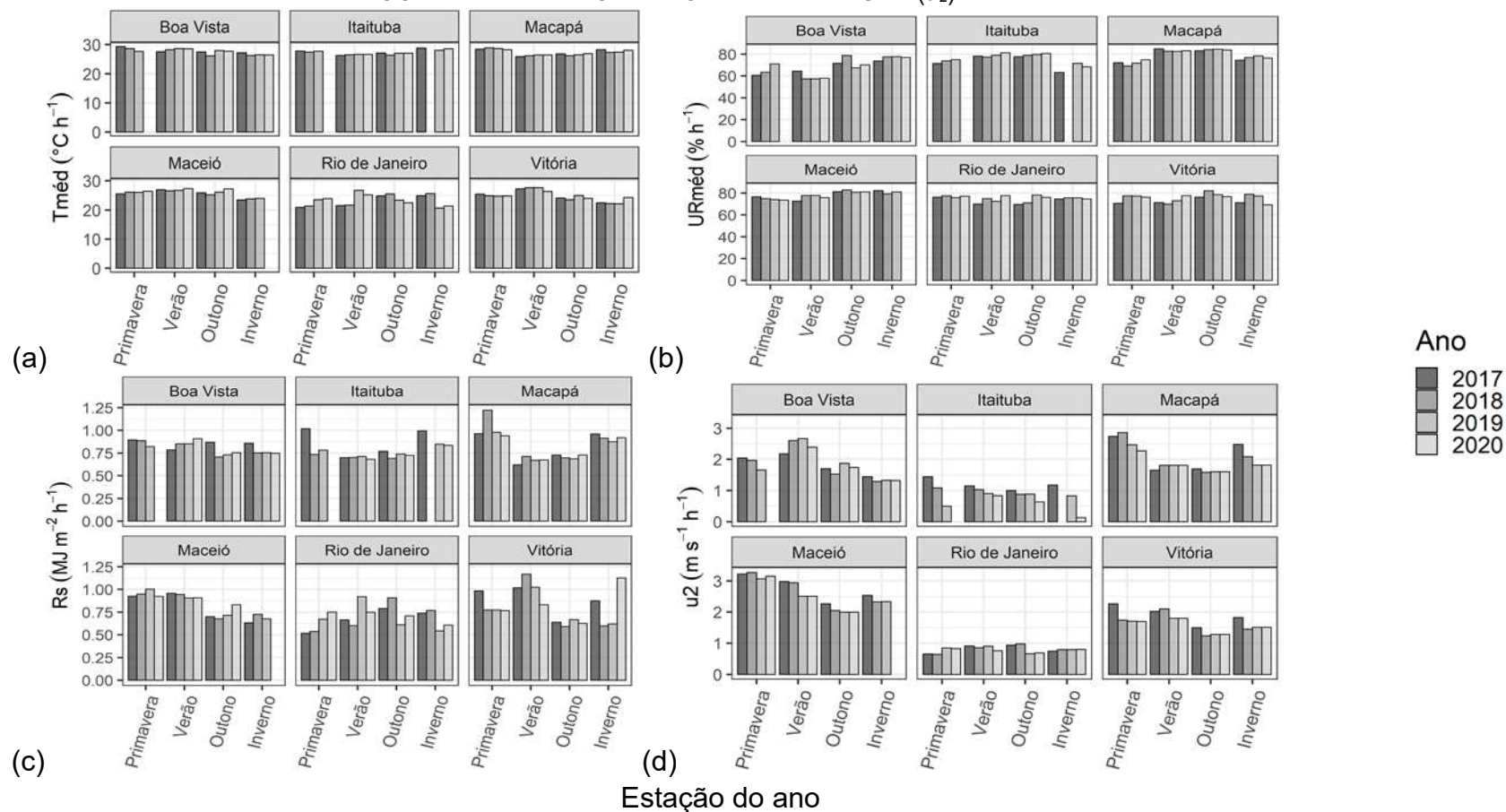
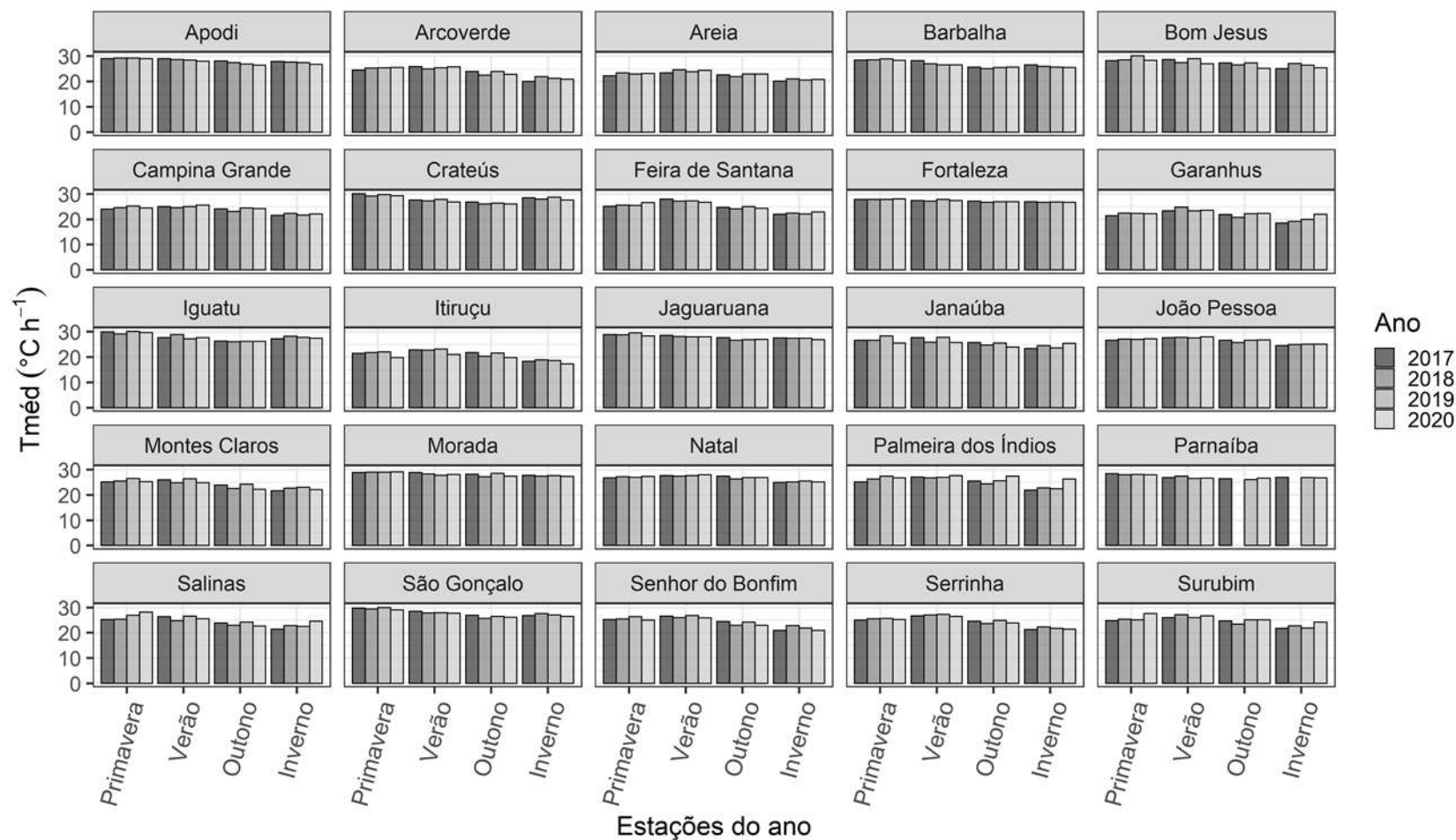
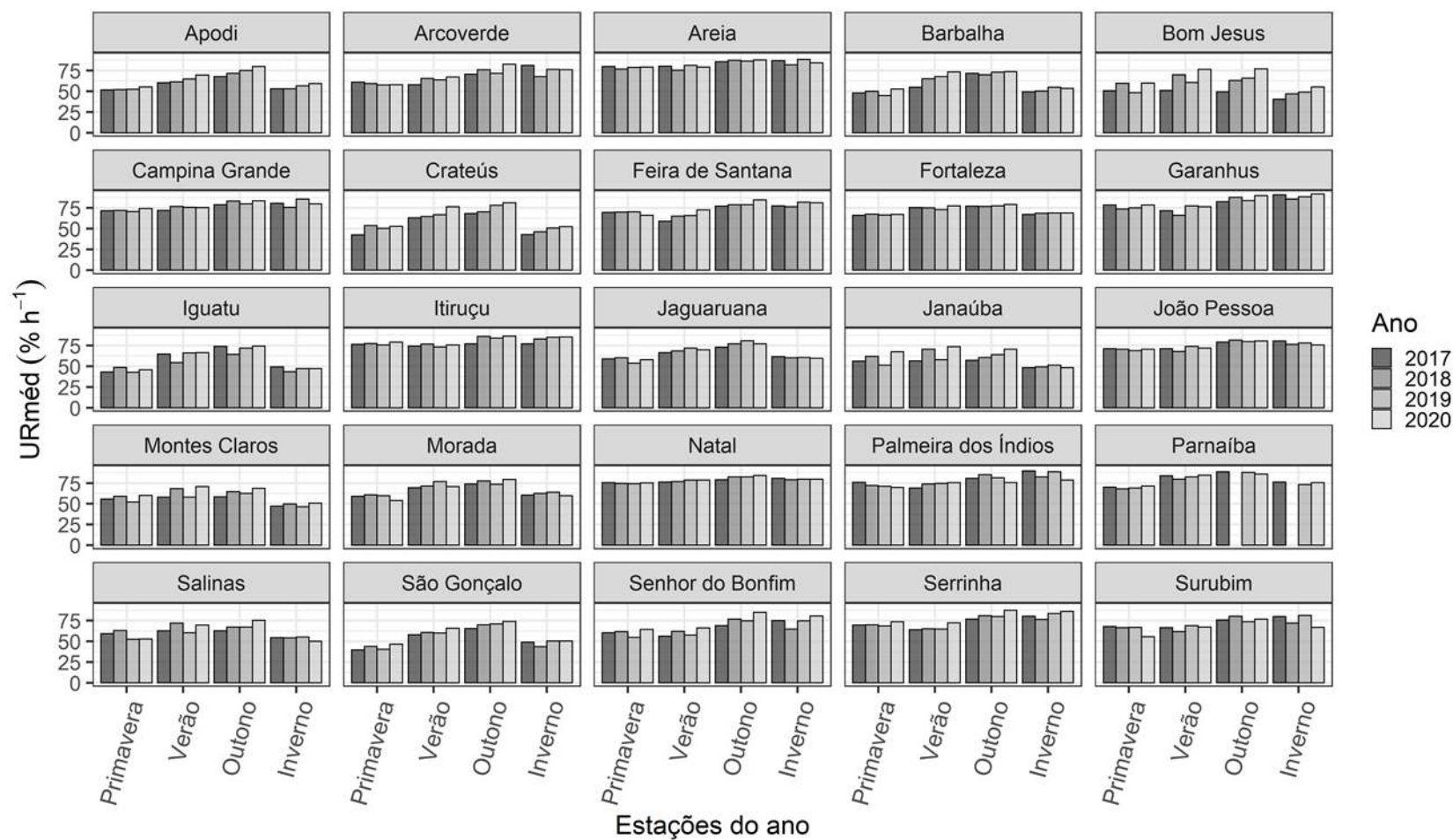


FIGURA A1.4 – FALHAS VERIFICADAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA As, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



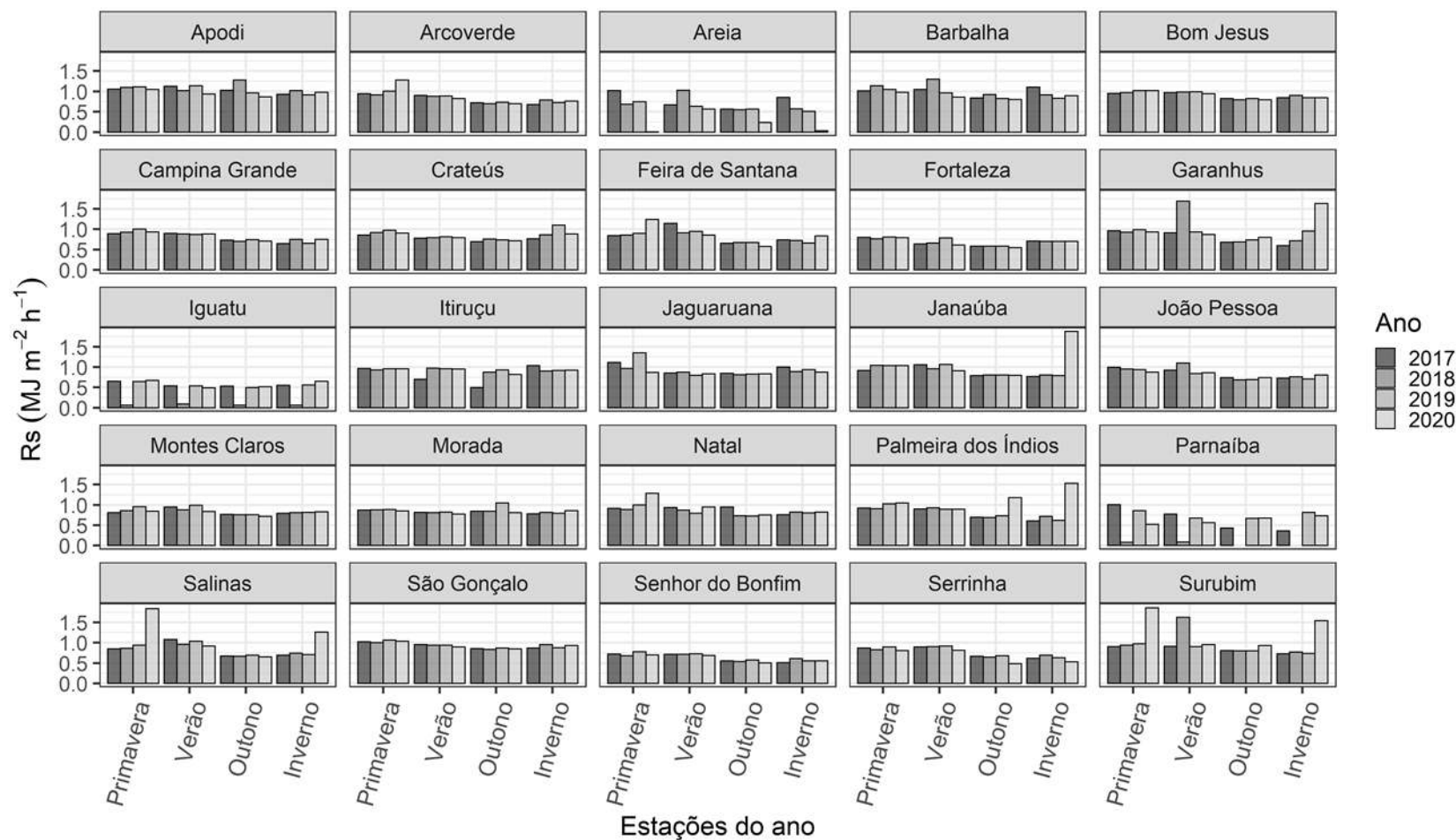
(a)
CONTINUA:

CONTINIAÇÃO: FALHAS VERIFICAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA As, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



(b)
CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: FIGURA A1.4 – FALHAS VERIFICAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA As, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



(c)
CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: FIGURA A1.4 – FALHAS VERIFICAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA As, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).

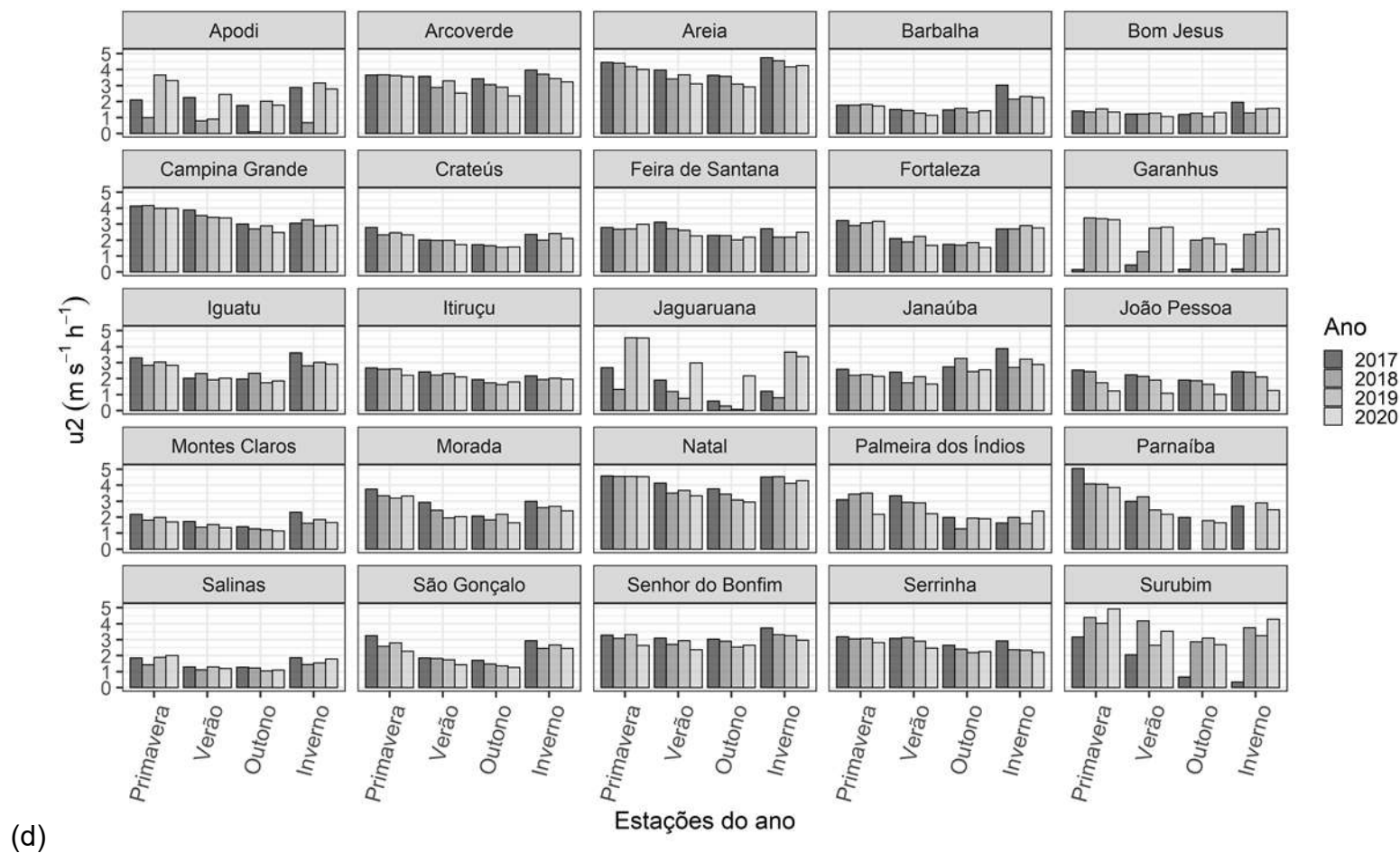


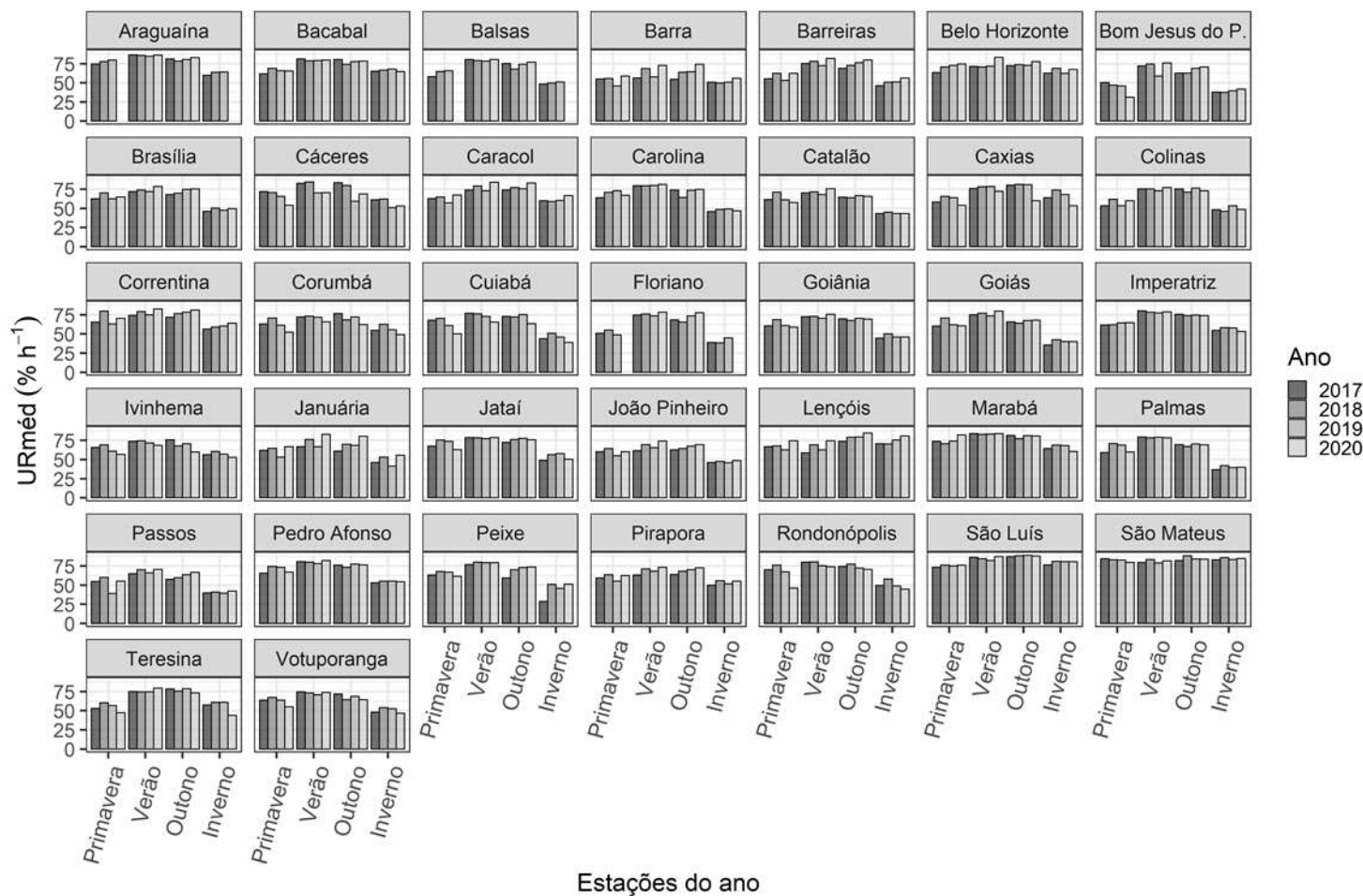
FIGURA A1.5 – FALHAS VERIFICADAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA Aw, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



(a)

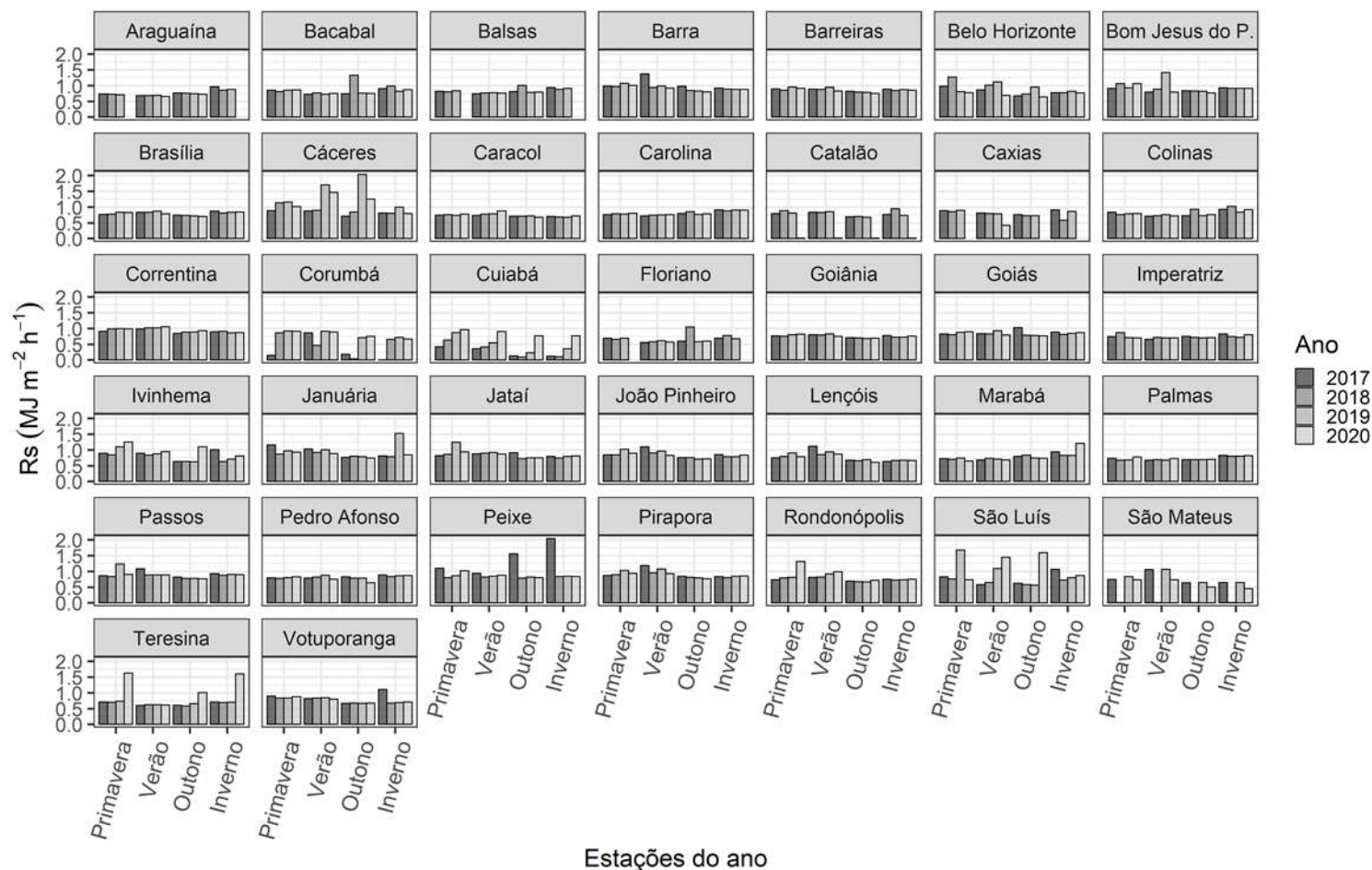
CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: FIGURA A1.5 – FALHAS VERIFICAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA A_w , NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



(b)
CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: FIGURA A1.5 – FALHAS VERIFICAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA A_w , NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



(c)

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: FIGURA A1.5 – FALHAS VERIFICAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA Aw , NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).

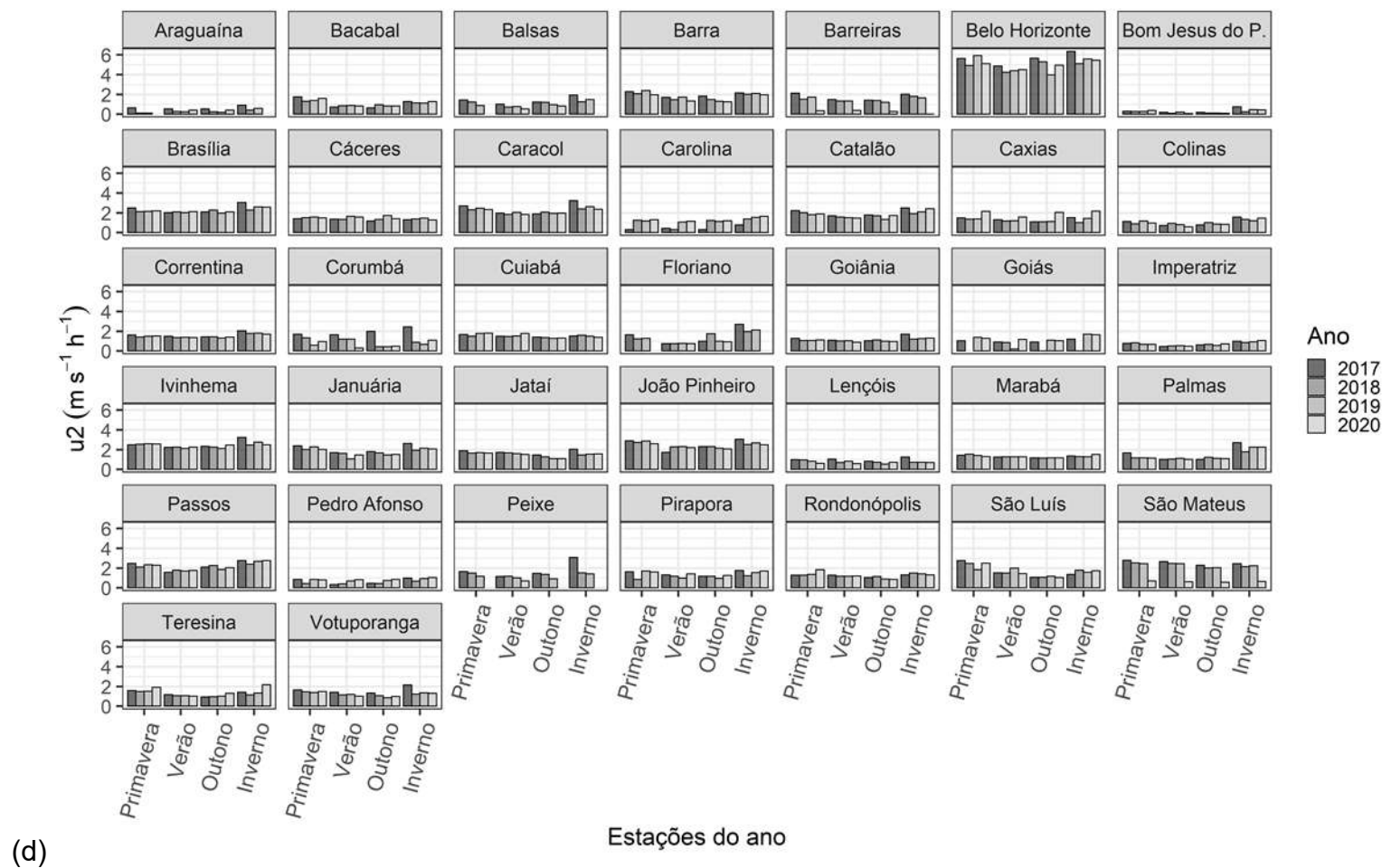
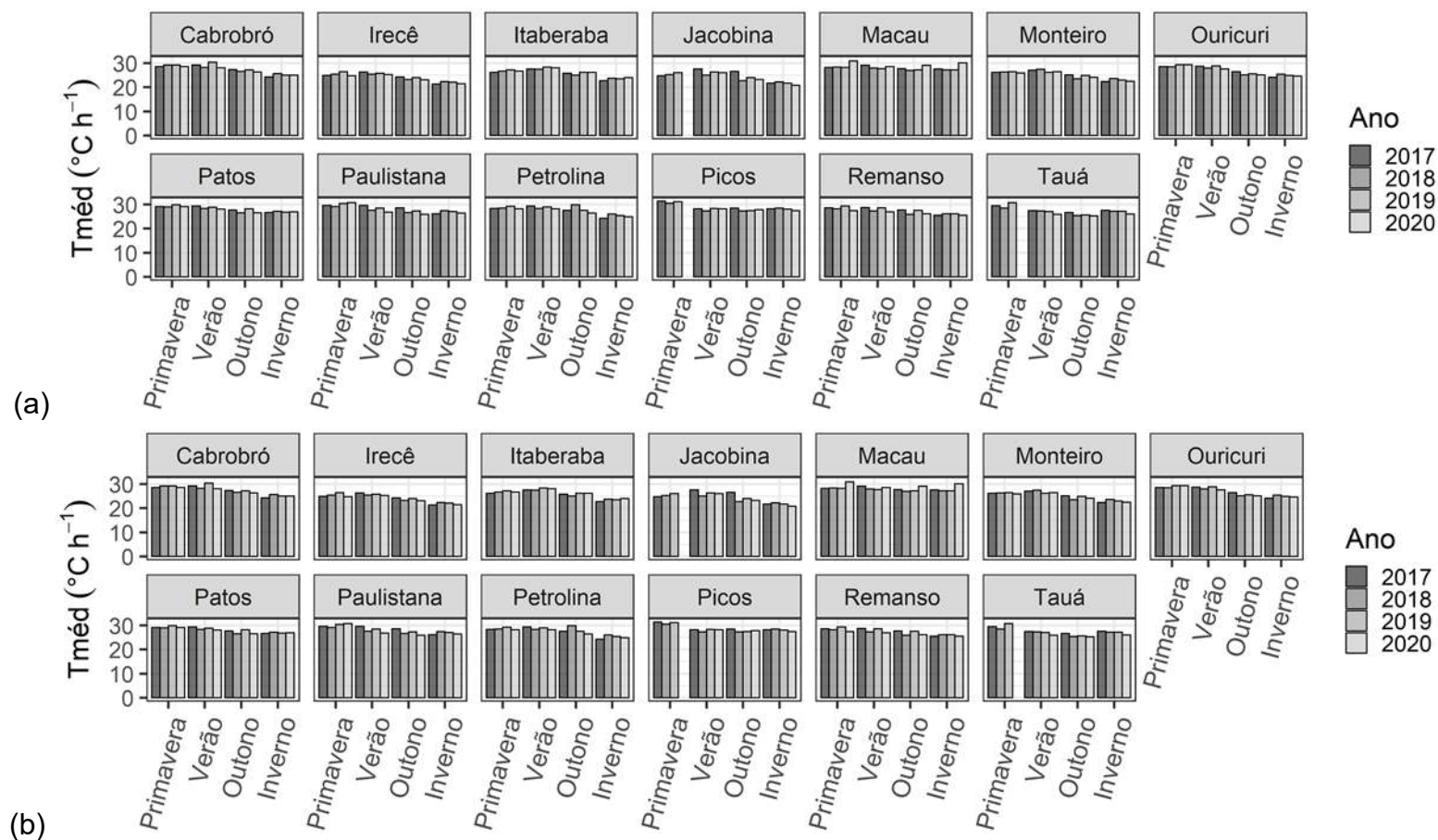
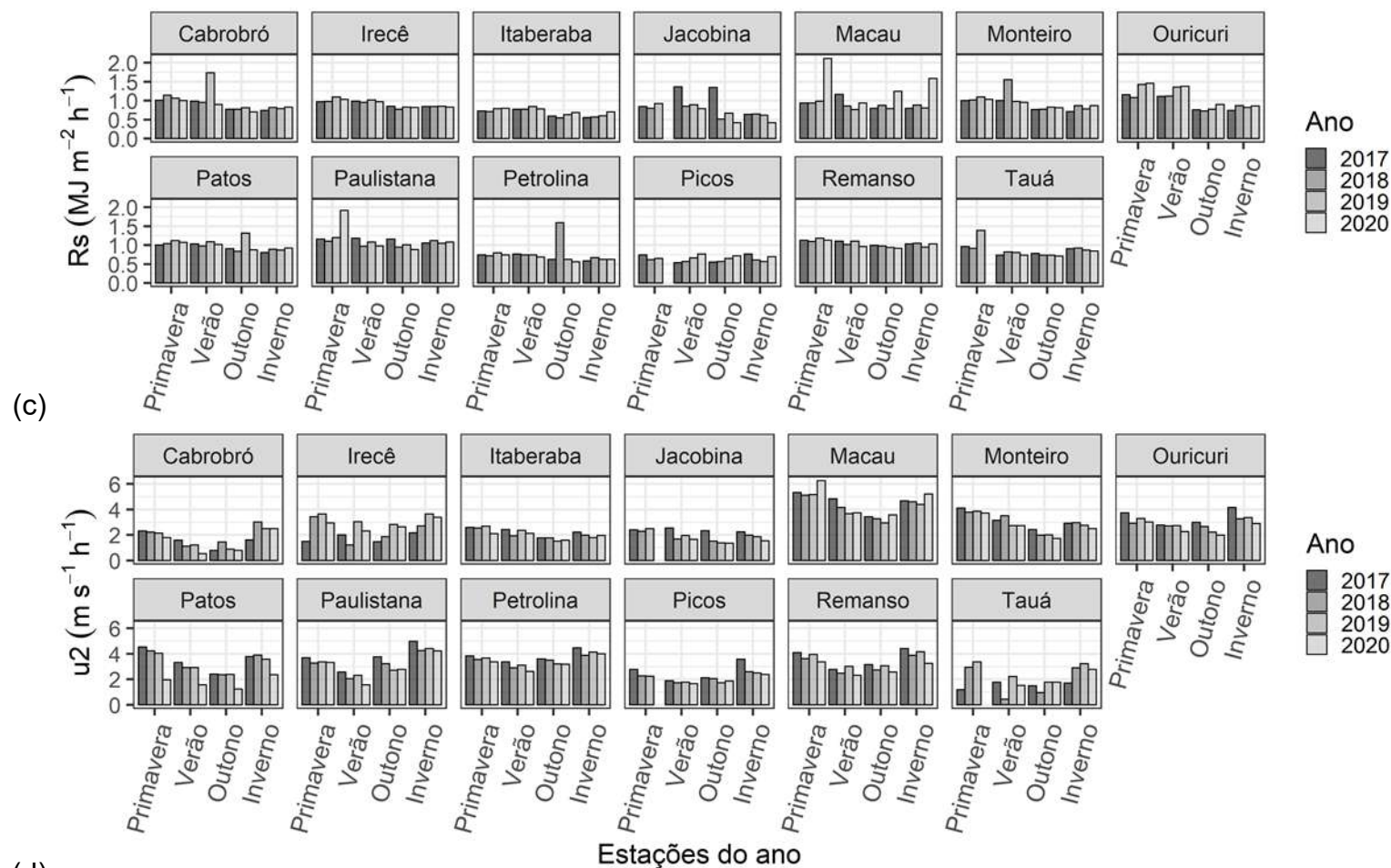


FIGURA A1.6 – FALHAS VERIFICADAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA BSh, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).

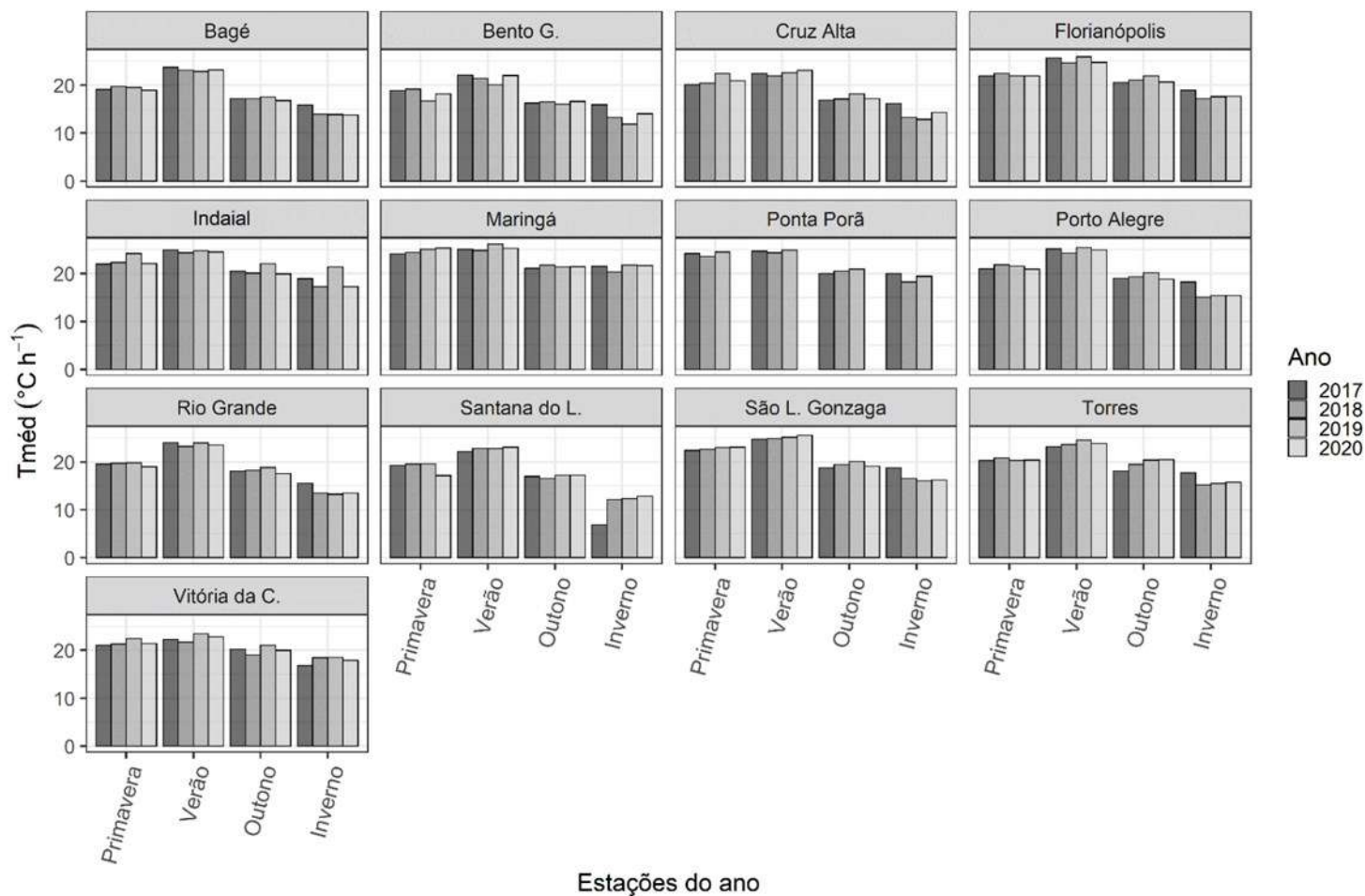


CONTINUAÇÃO: FIGURA A1.6 – FALHAS VERIFICAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA BSh, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



Fonte: O autor (2024).

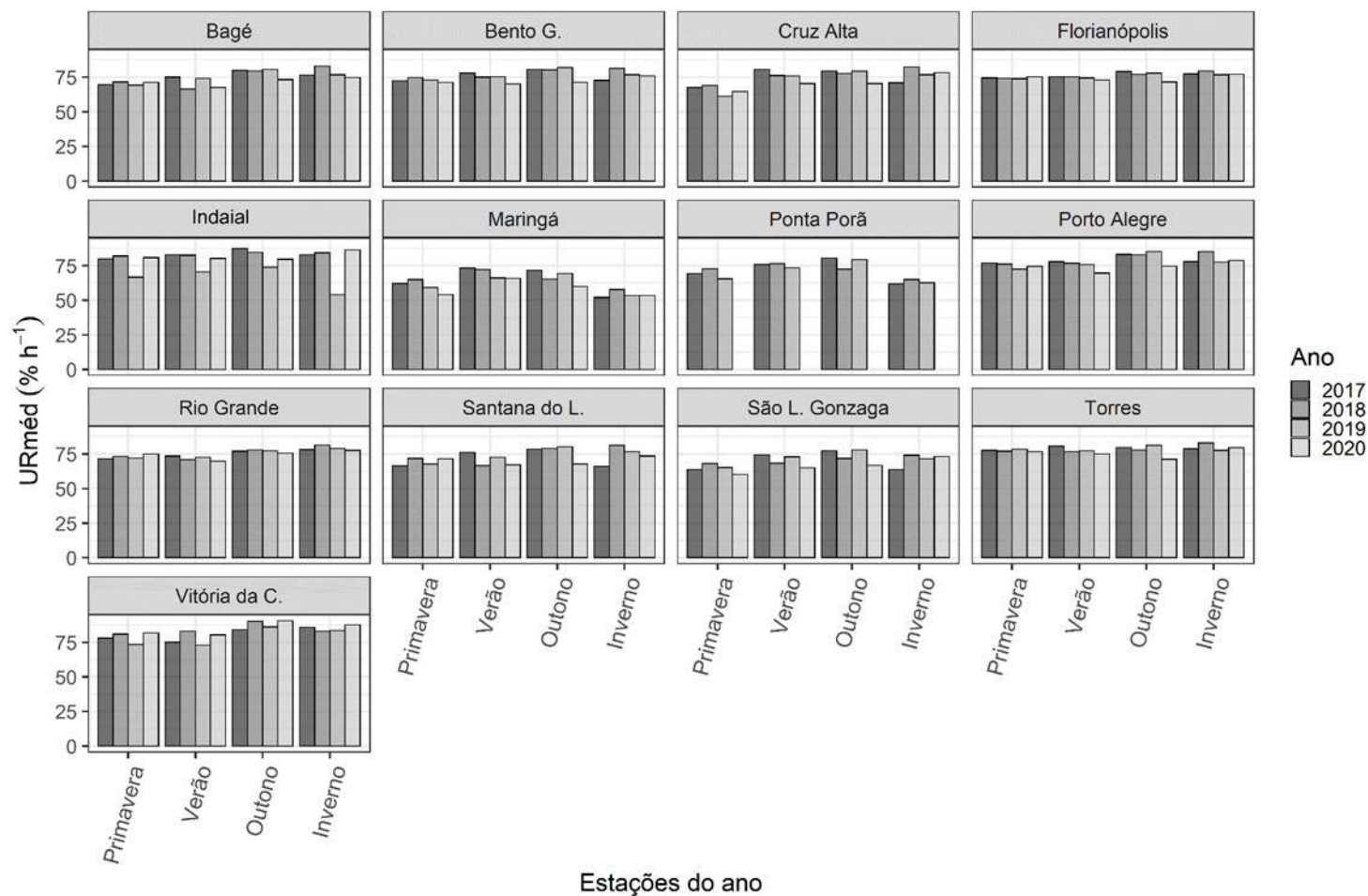
FIGURA A1.7 – FALHAS VERIFICADAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA *BSh*, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



(a)

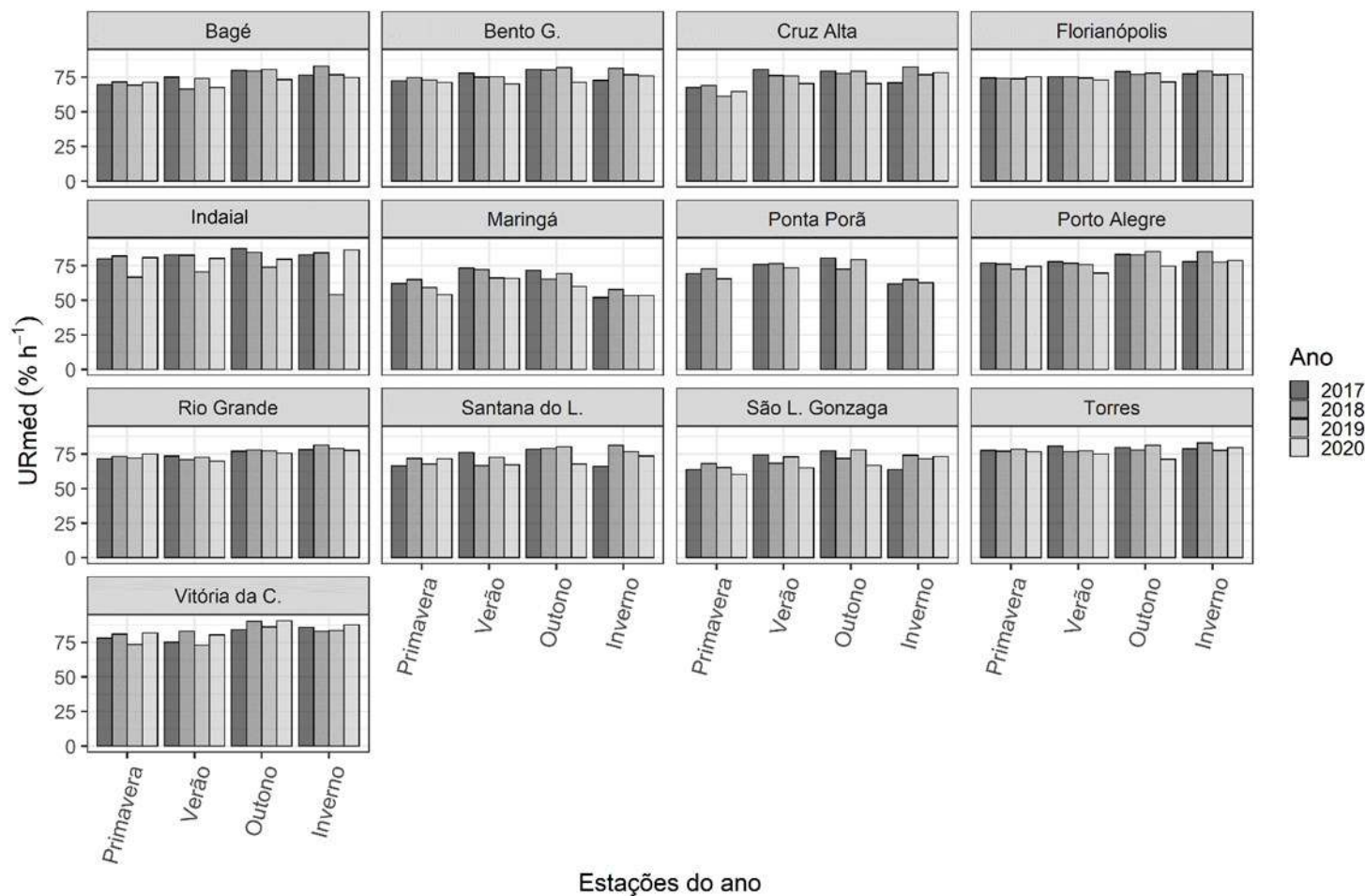
CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: FIGURA A1.7 – FALHAS VERIFICAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA BSh, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



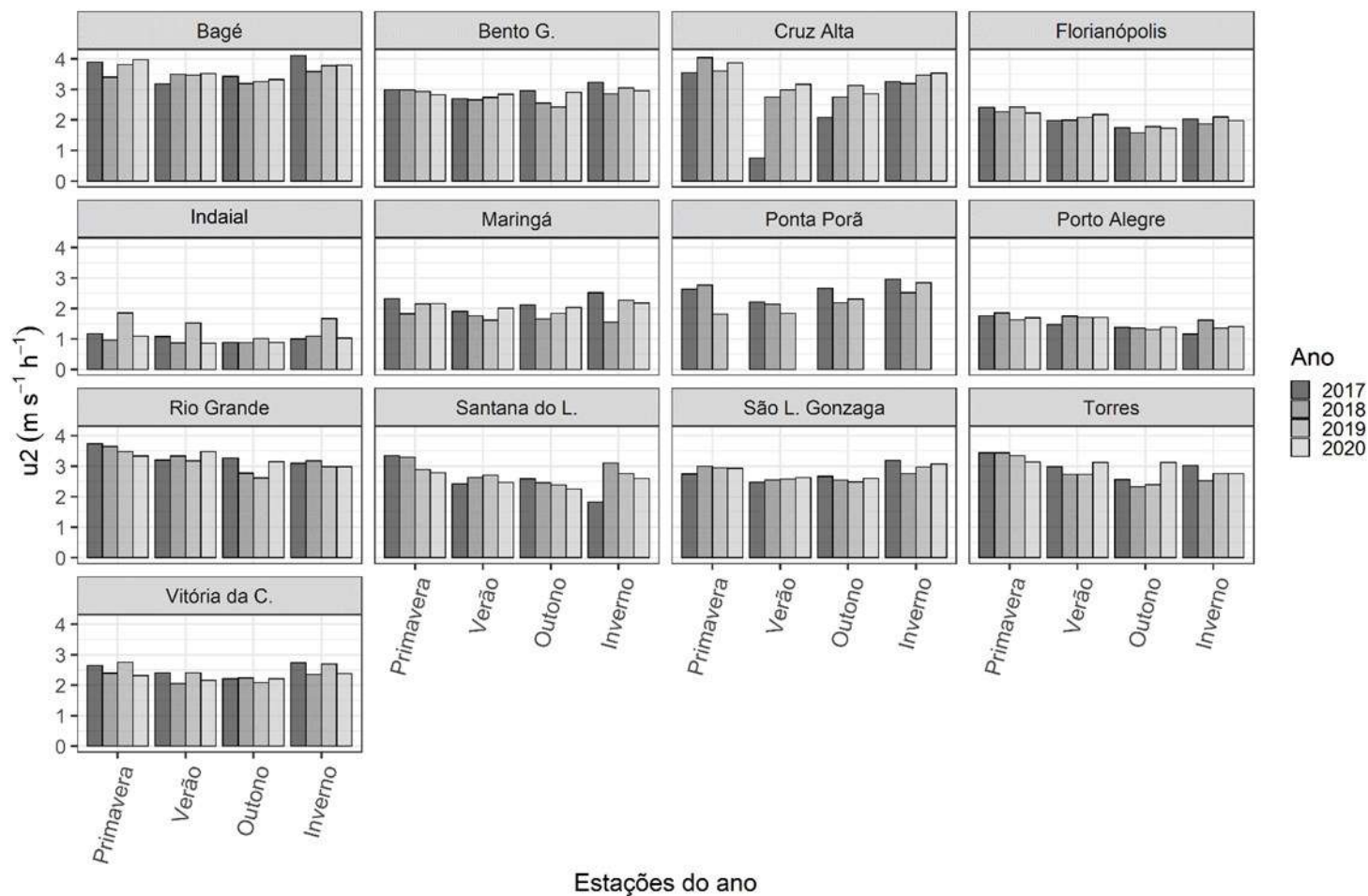
(b)
CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: FIGURA A1.7 – FALHAS VERIFICAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA BSh, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



CONTINUA: (c)

CONTINUAÇÃO: FIGURA A1.7 – FALHAS VERIFICADAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA *BSh*, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



(d)

Fonte: O autor (2024).

FIGURA A1.8 – FALHAS VERIFICAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA *Cfb*, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).

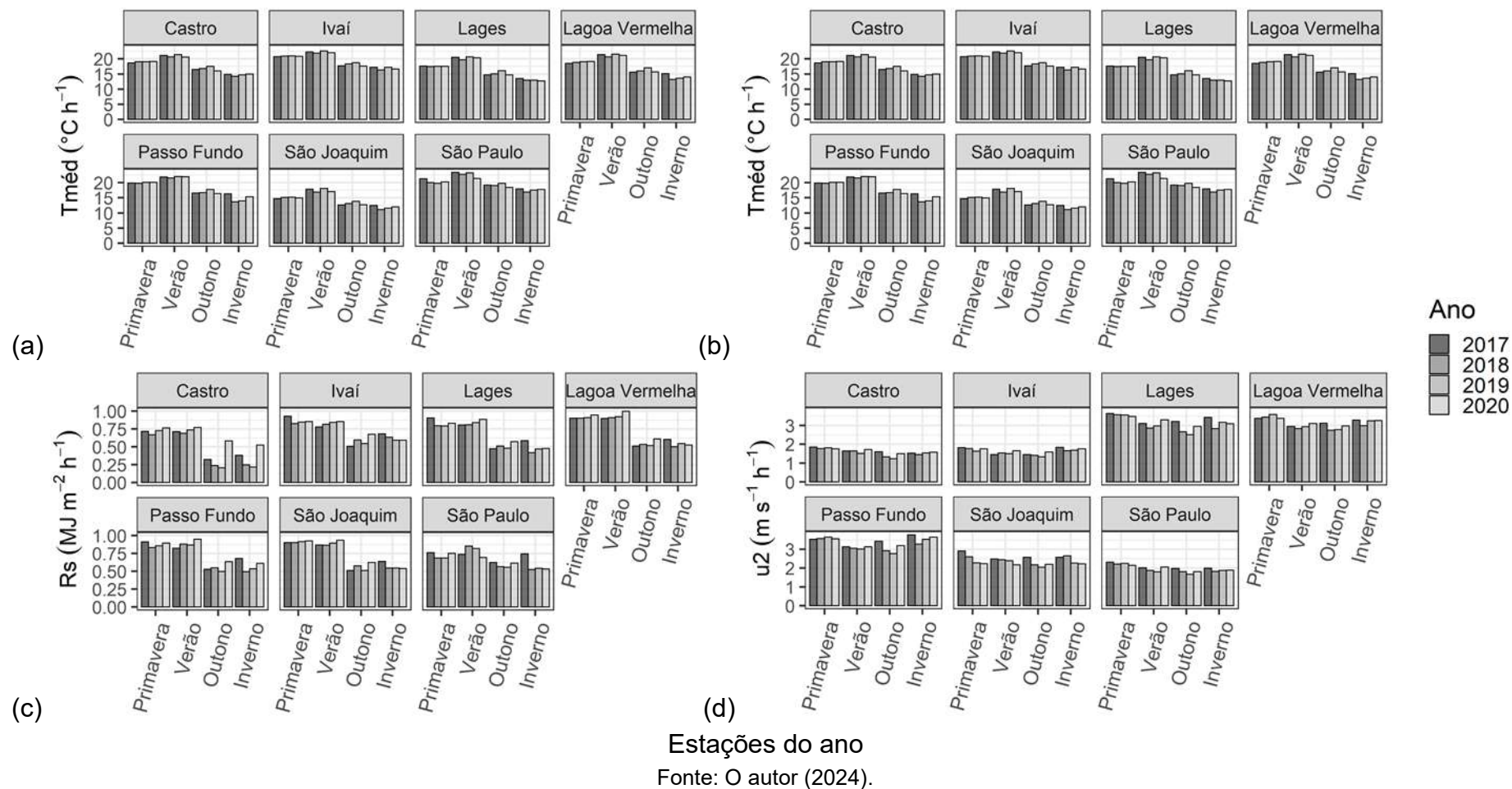


FIGURA A1.9 – FALHAS VERIFICADAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA *Cwa*, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2m DE ALTURA (u_2).

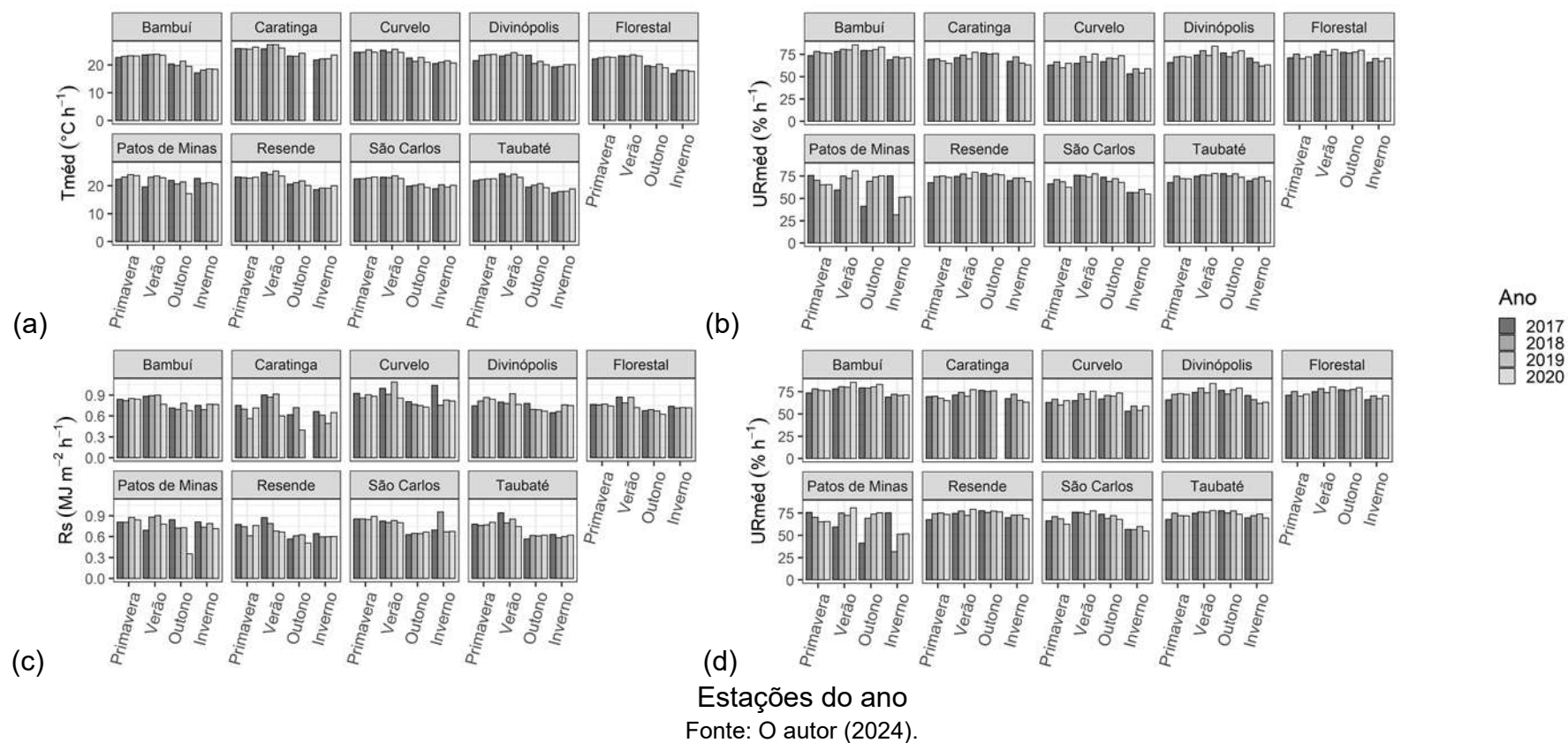
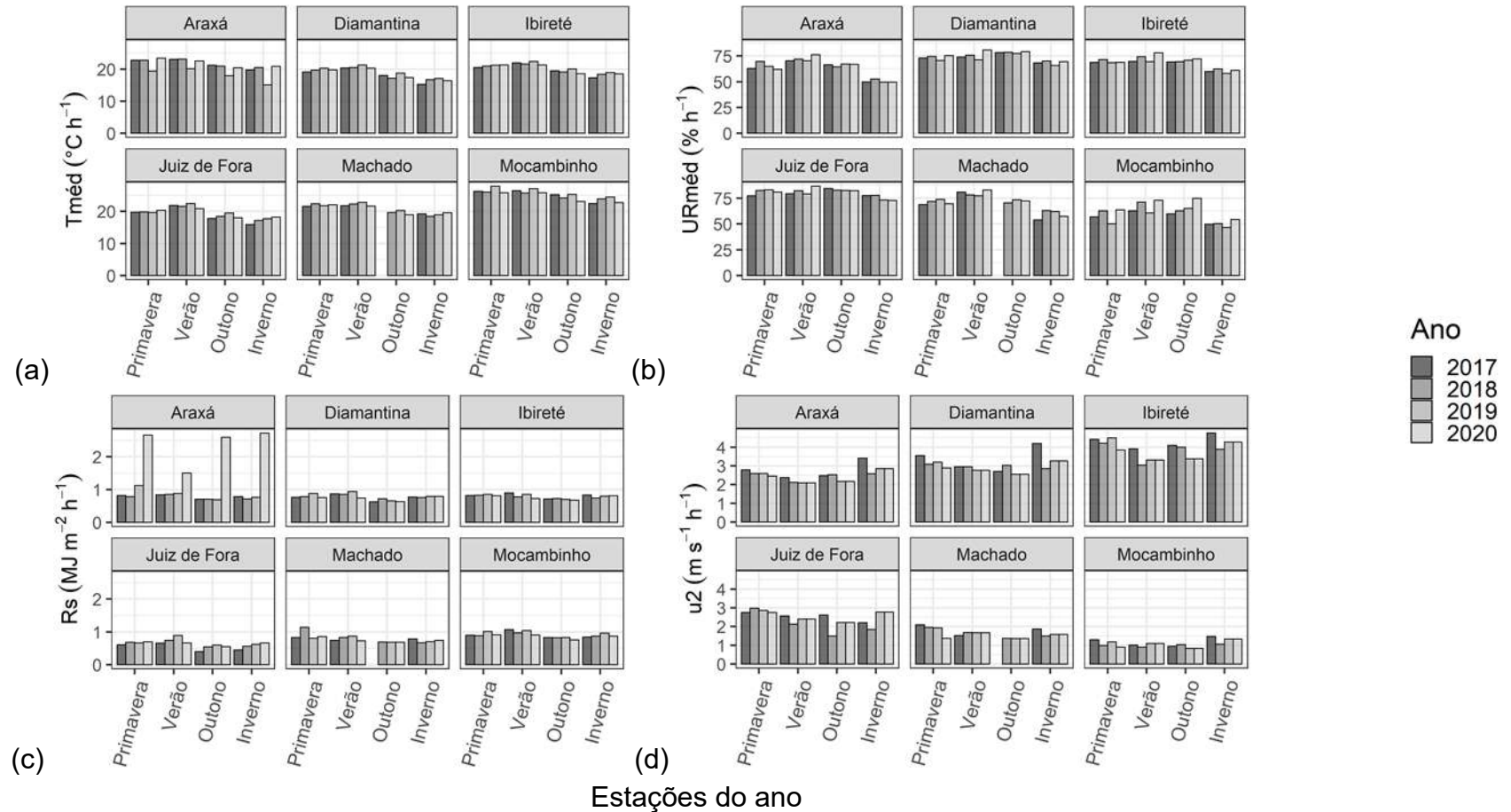
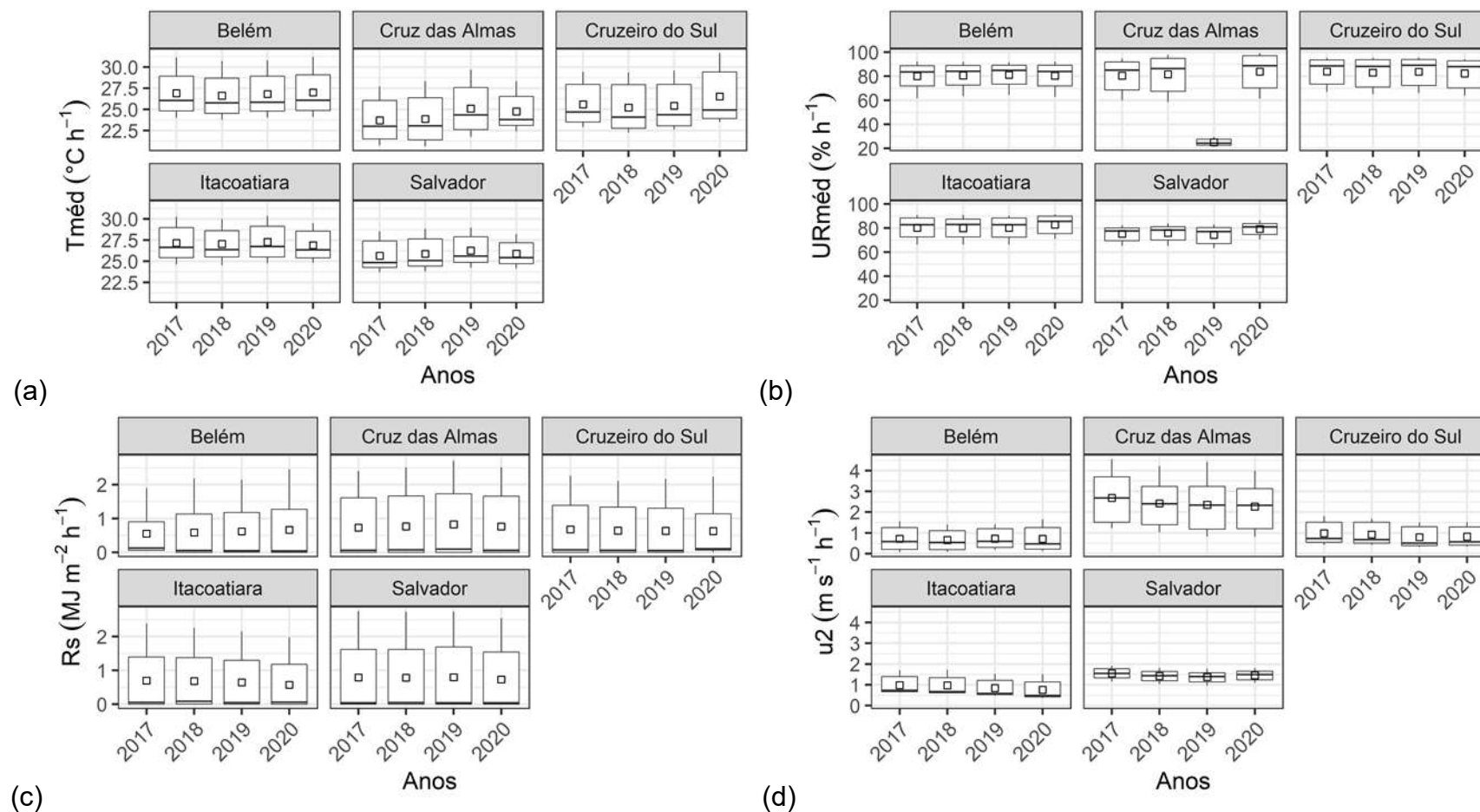


FIGURA A1.10 – FALHAS VERIFICAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA *Cwb*, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



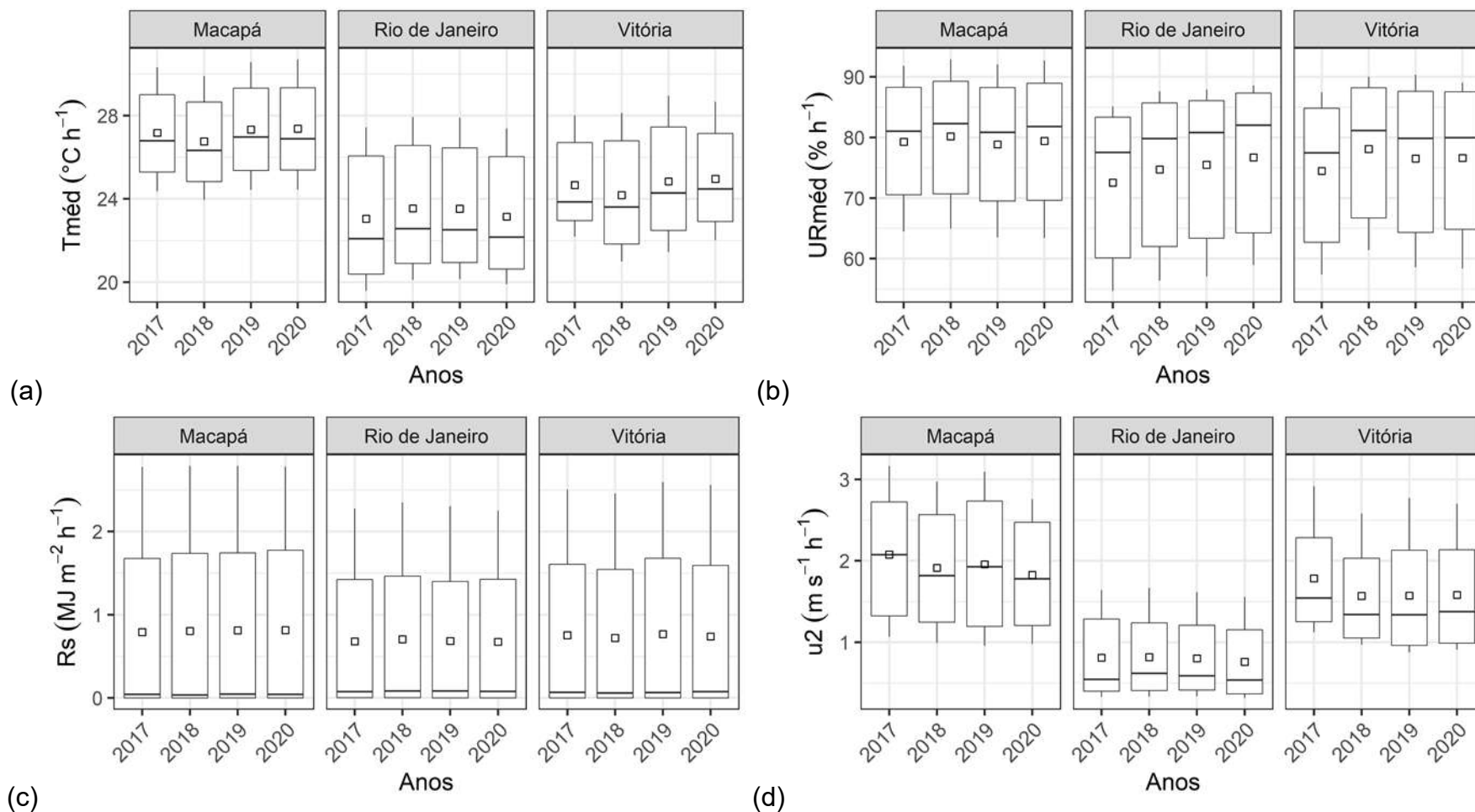
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A1.11 – FALHAS VERIFICAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA Af, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



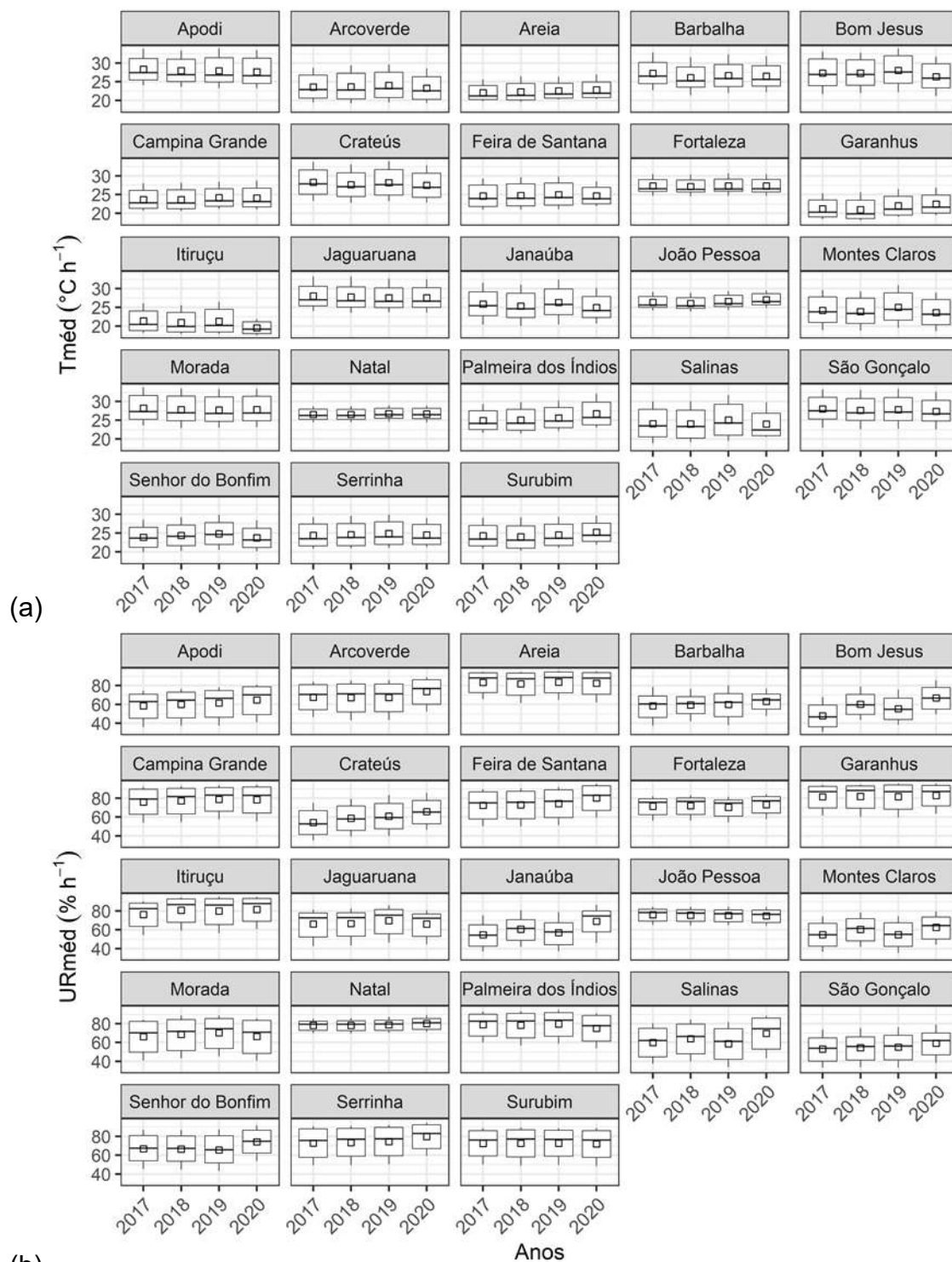
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A1.12 – FALHAS VERIFICAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA Am, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



Fonte: O autor (2024).

FIGURA A1.13 – FALHAS VERIFICAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA As, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



(b)
CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: FIGURA A1.13 – FALHAS VERIFICADAS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA As, NAS ESTAÇÕES DOS ANOS, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).

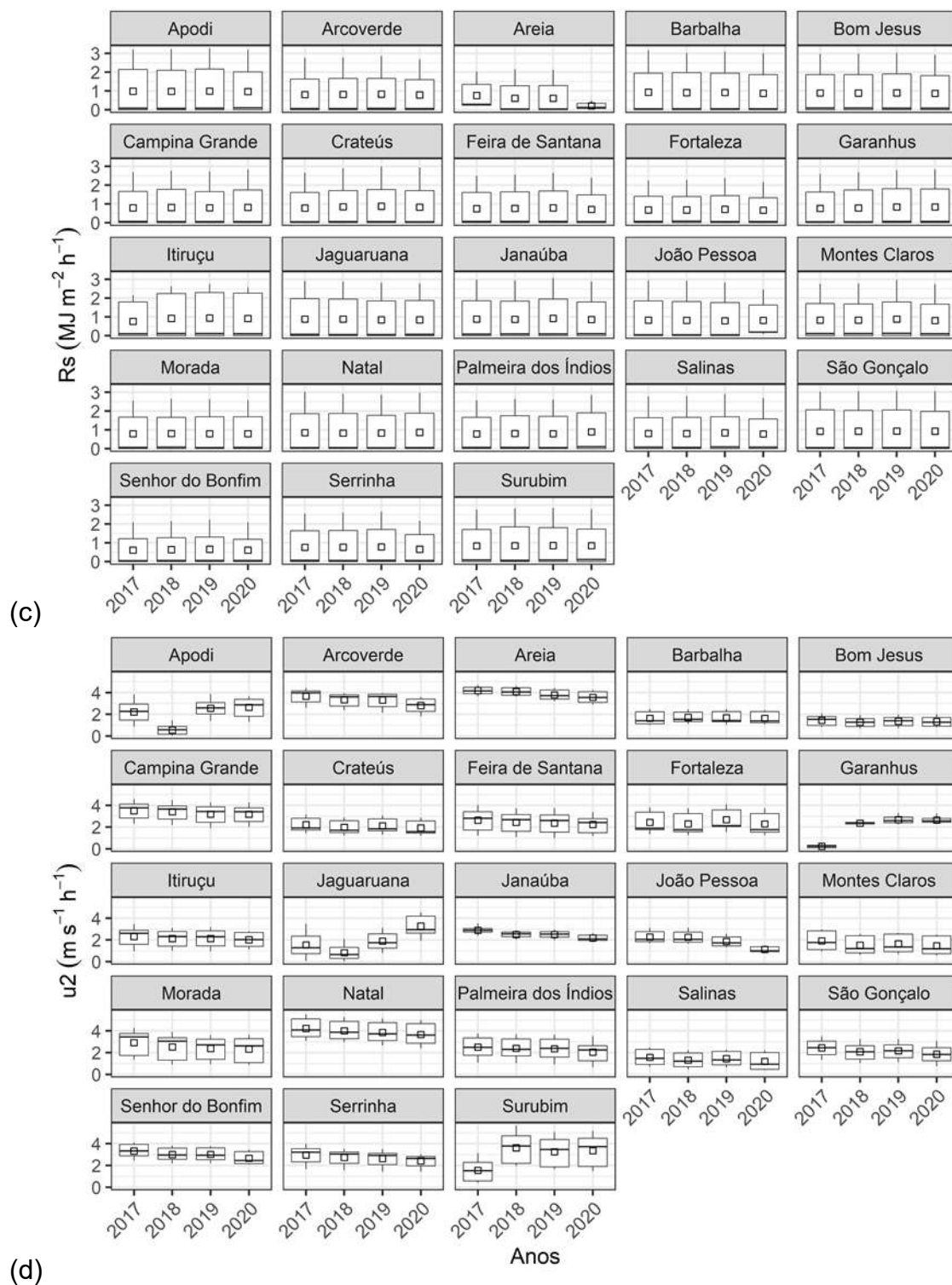
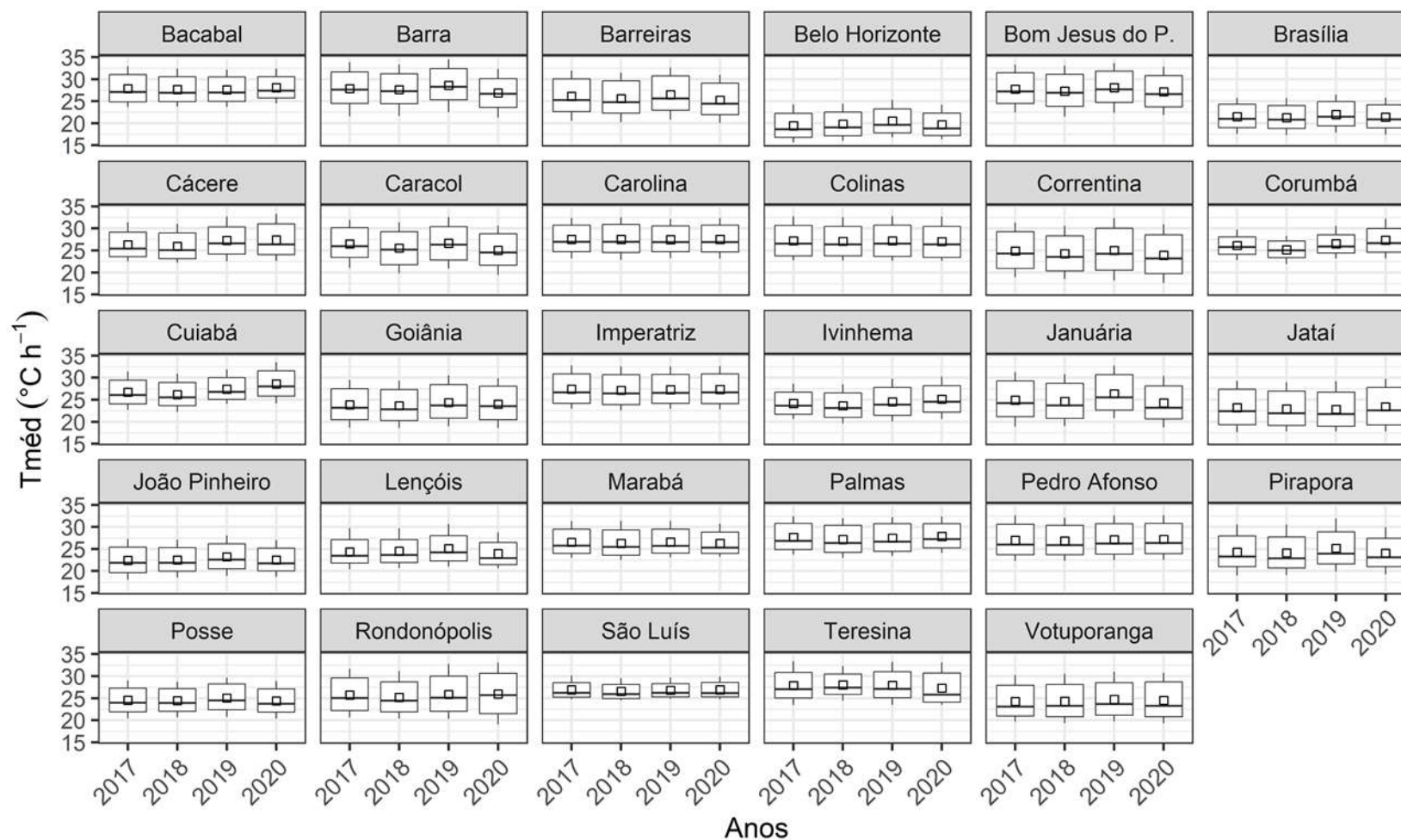
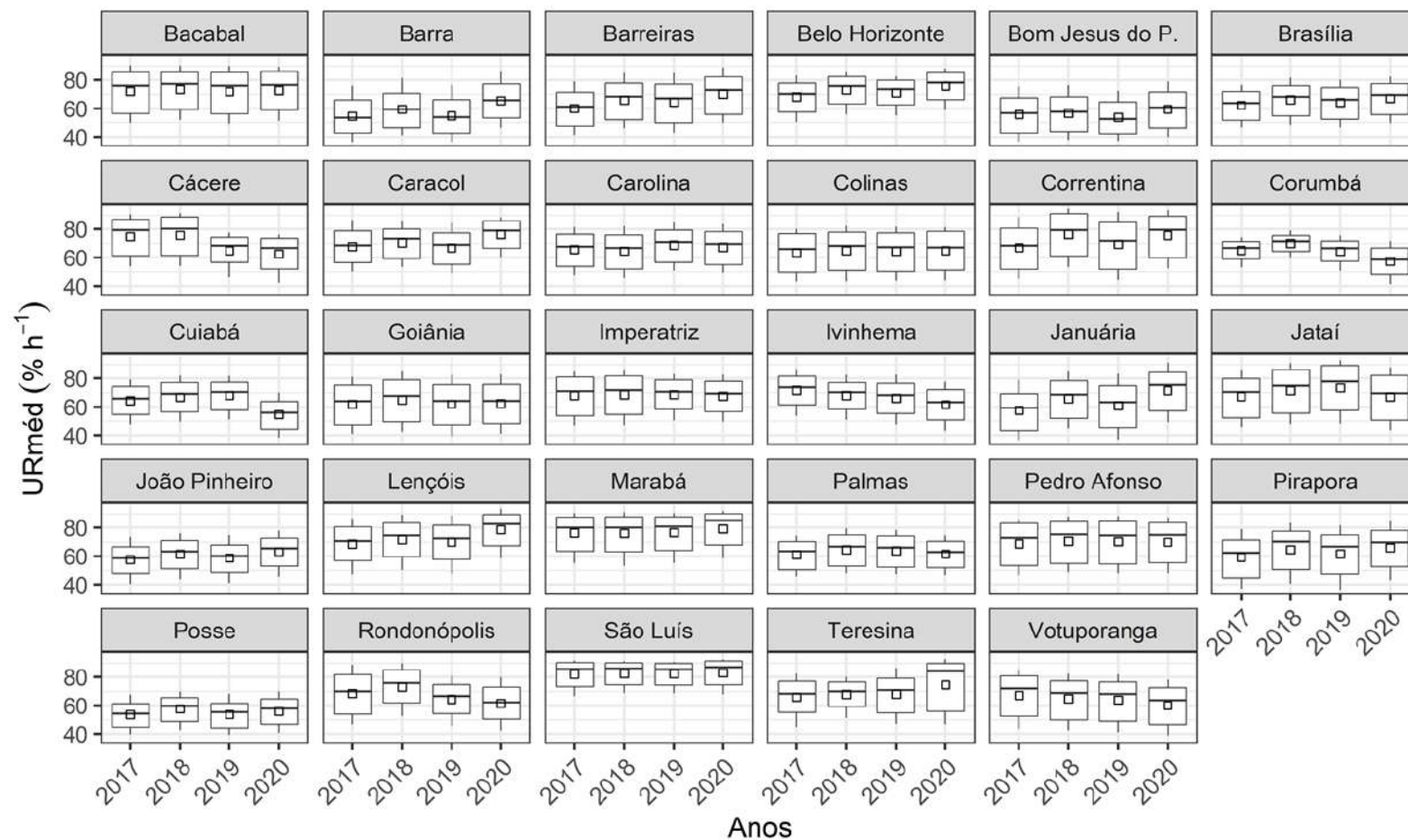


FIGURA A1.14 – *OUTLIERS* VERIFICADOS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA *Aw*, POR ANO, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



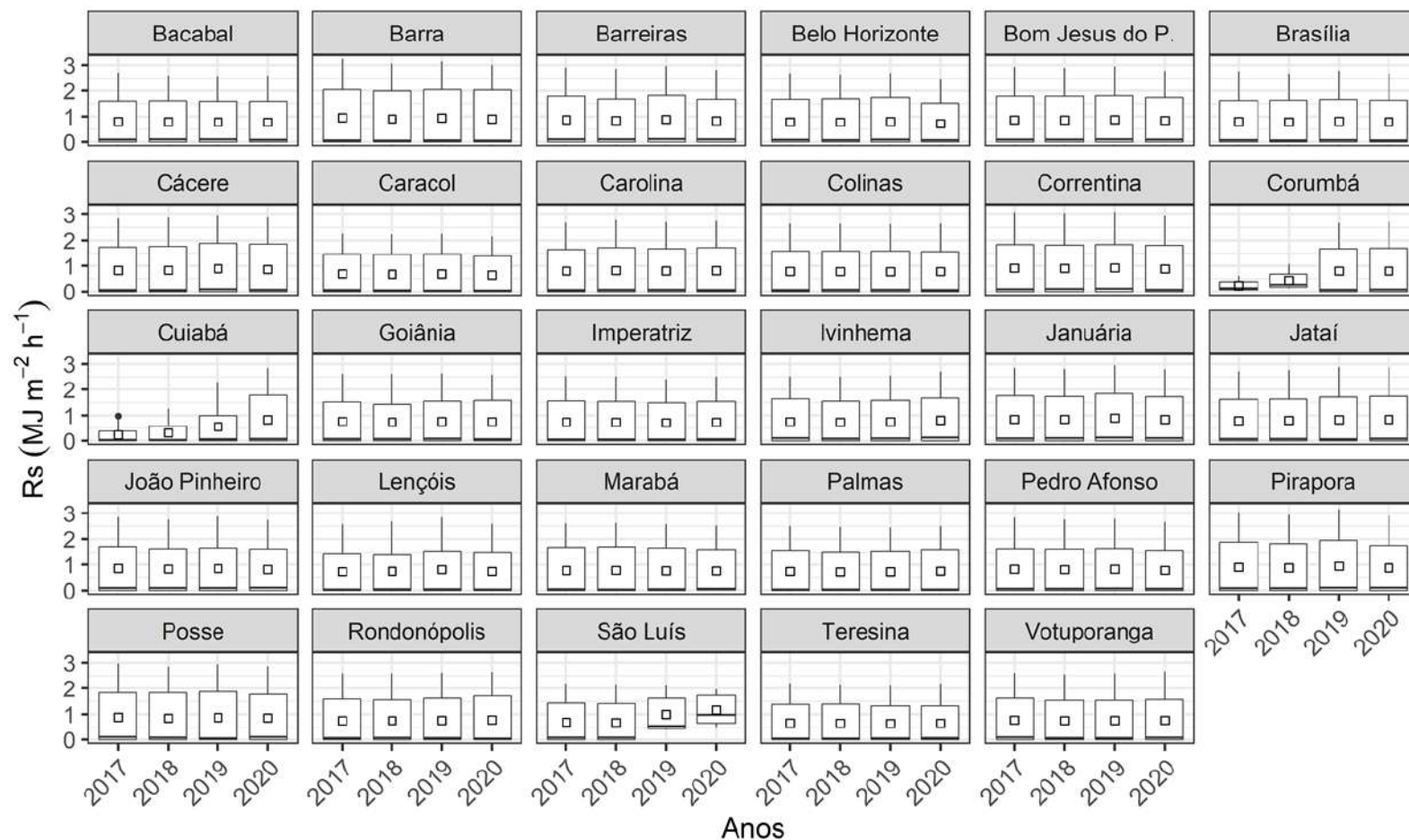
(a)
CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: FIGURA A1.14 – *OUTLIERS* VERIFICADOS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA *Aw*, POR ANO, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



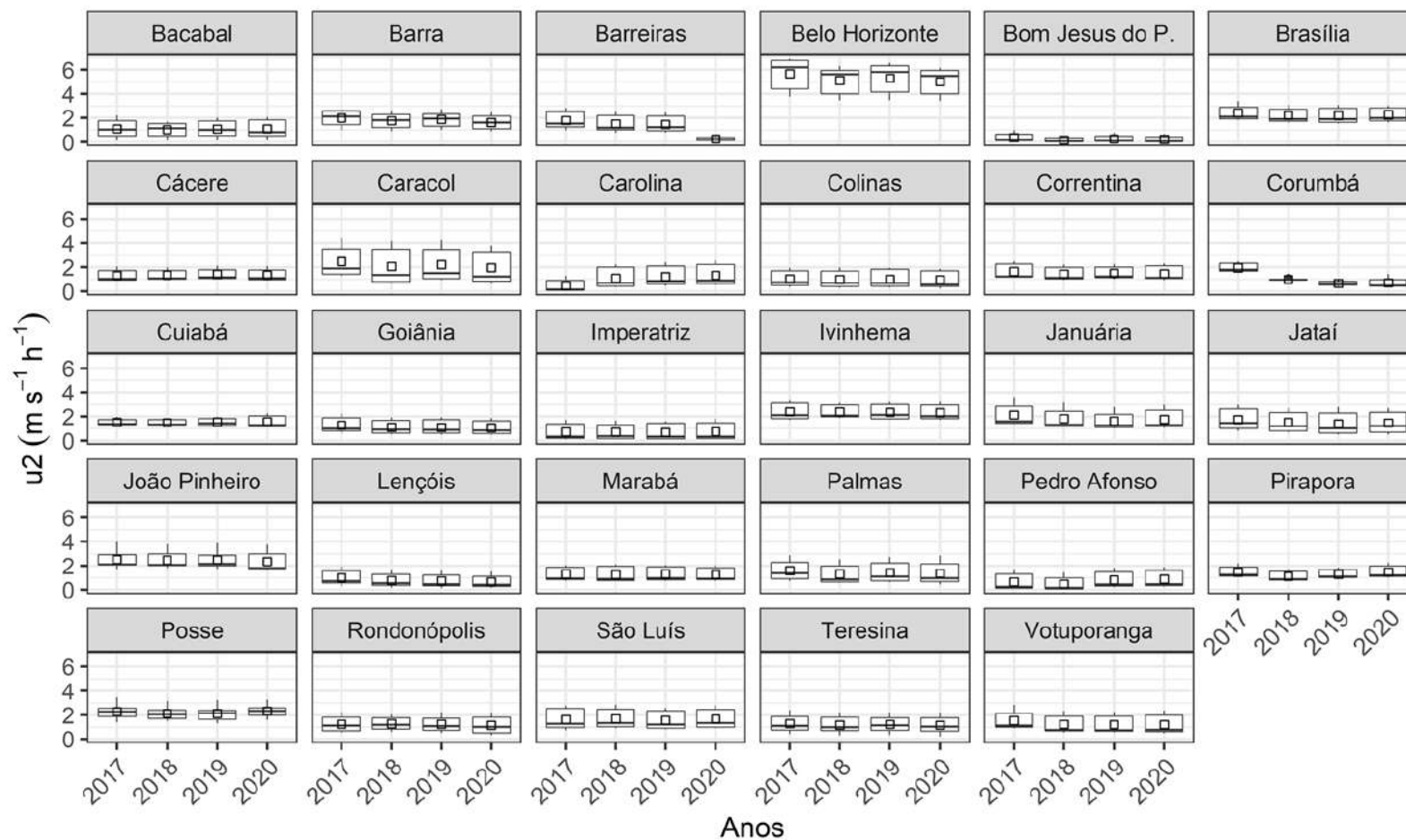
(b)
CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: FIGURA A1.14 – *OUTLIERS* VERIFICADOS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA *Aw*, POR ANO, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



(c)
CONTINUA:

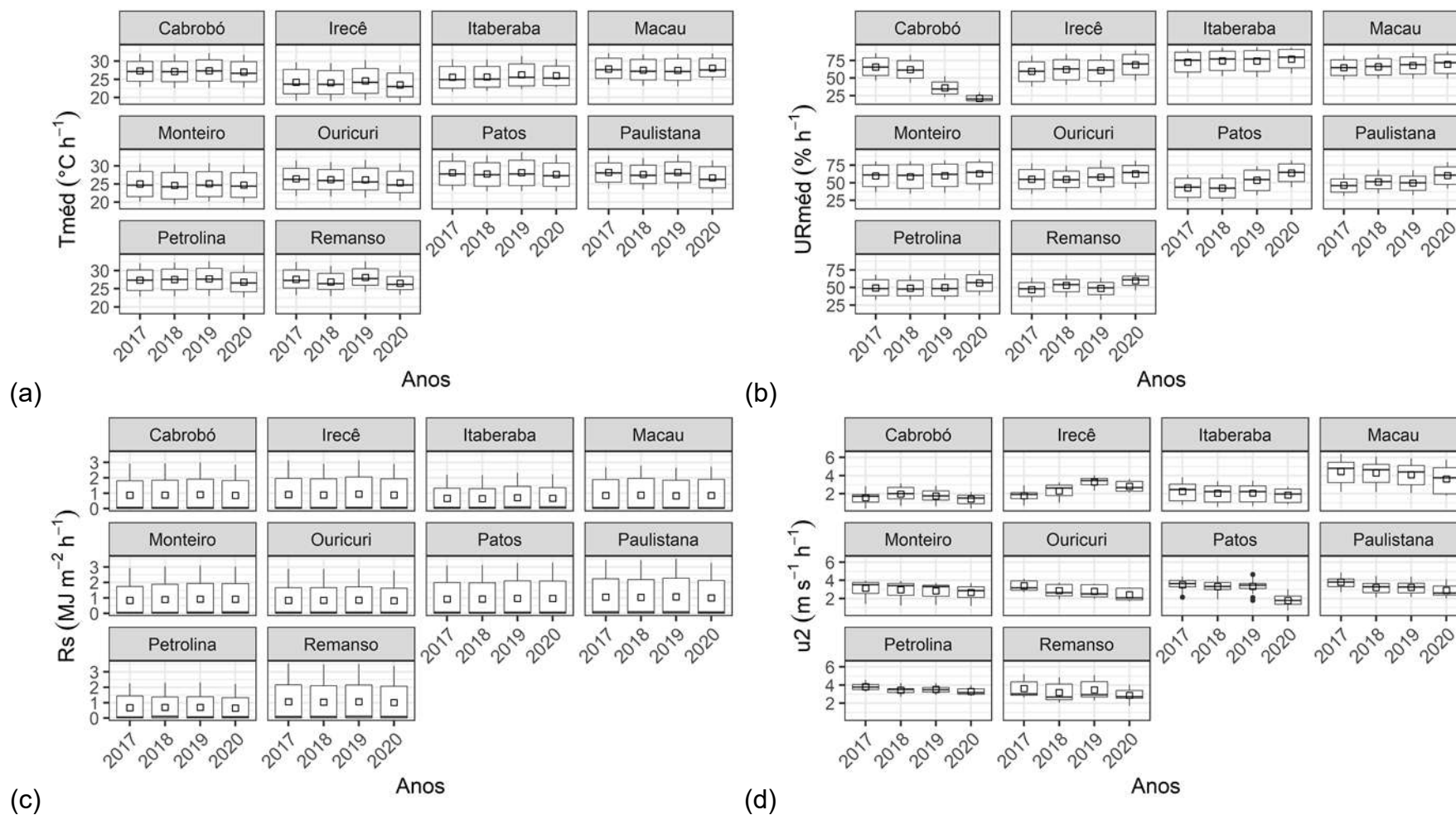
CONTINUAÇÃO: FIGURA A1.14 – *OUTLIERS* VERIFICADOS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA *Aw*, POR ANO, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



(d)

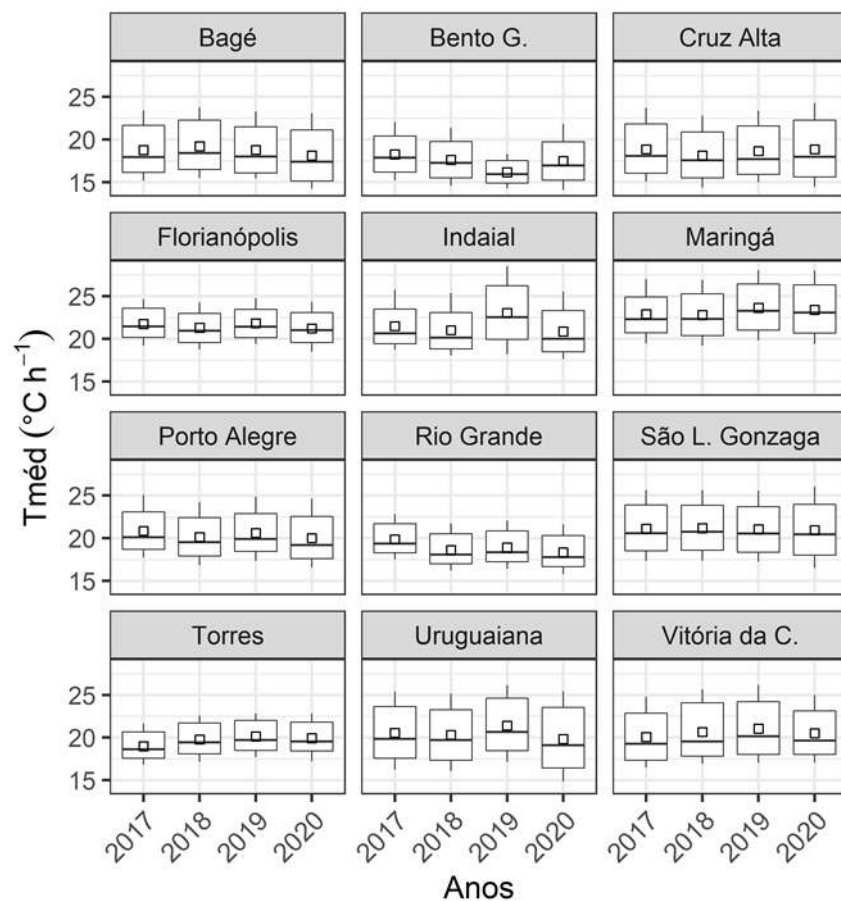
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A1.15 – *OUTLIERS* VERIFICADOS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA *BSh*, POR ANO, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).

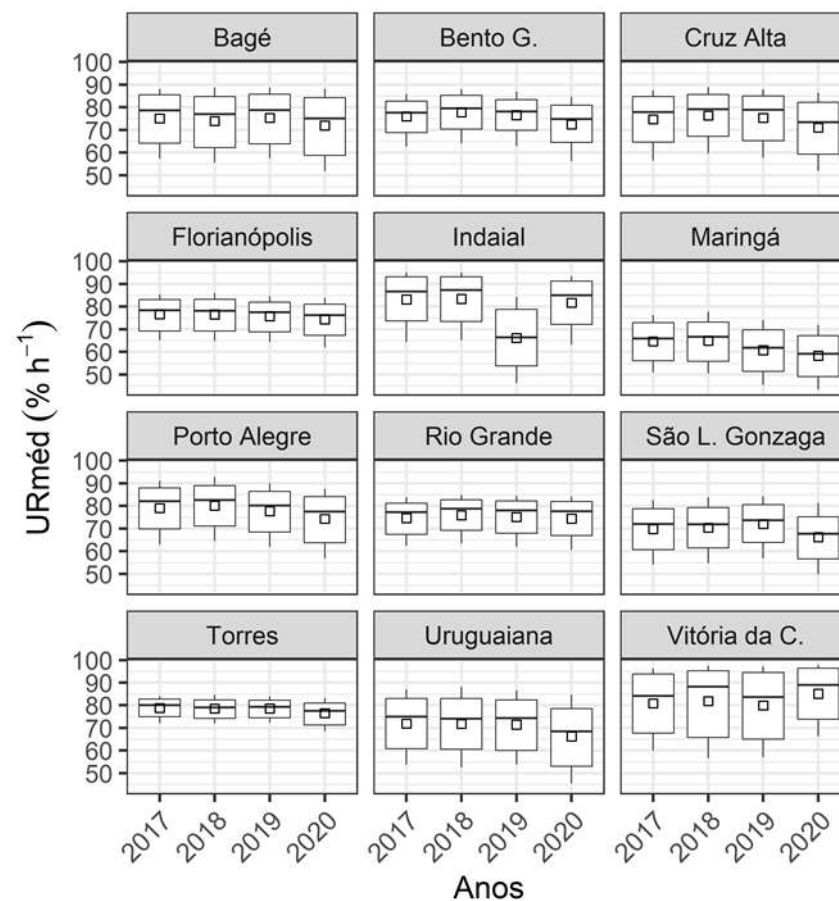


Fonte: O autor (2024).

FIGURA A1.16 – *OUTLIERS* VERIFICADOS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA *Cfa*, POR ANO, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).

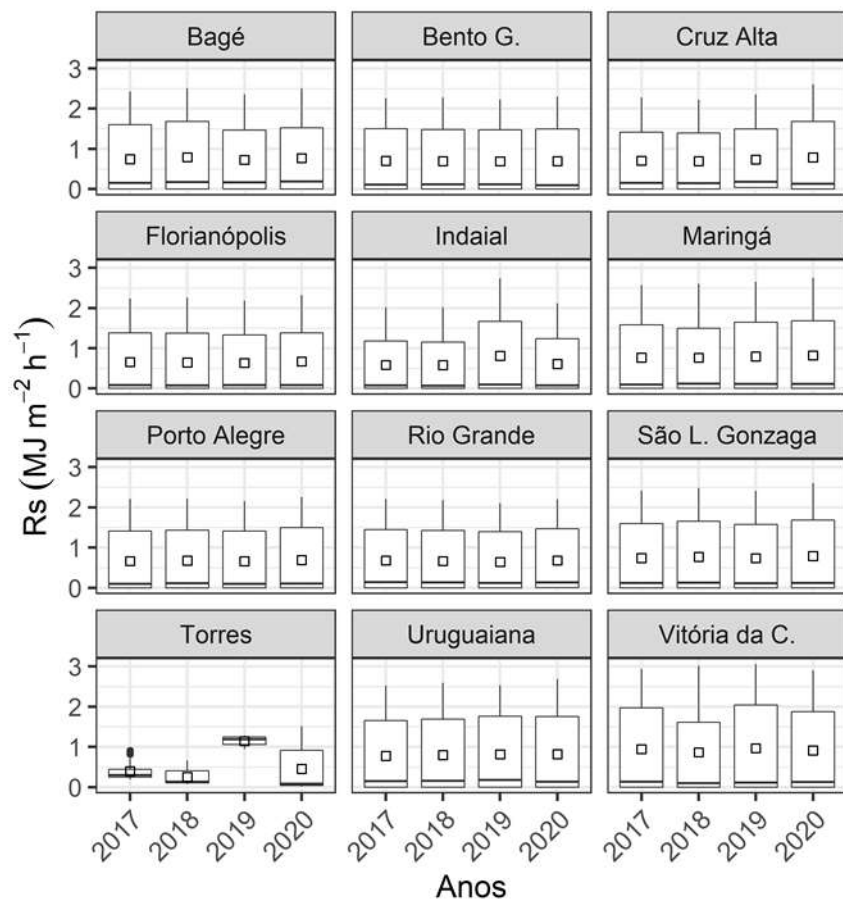


(a)
CONTINUA:

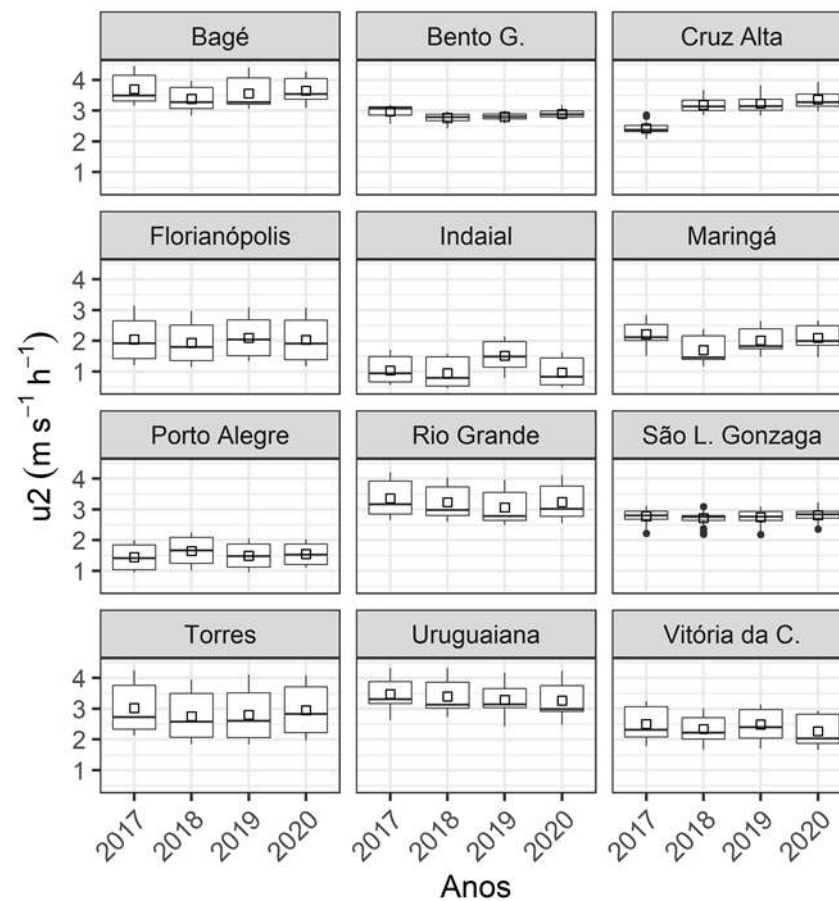


(b)

CONTINUAÇÃO: FIGURA A1.16 – *OUTLIERS* VERIFICADOS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA Cfa, POR ANO, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



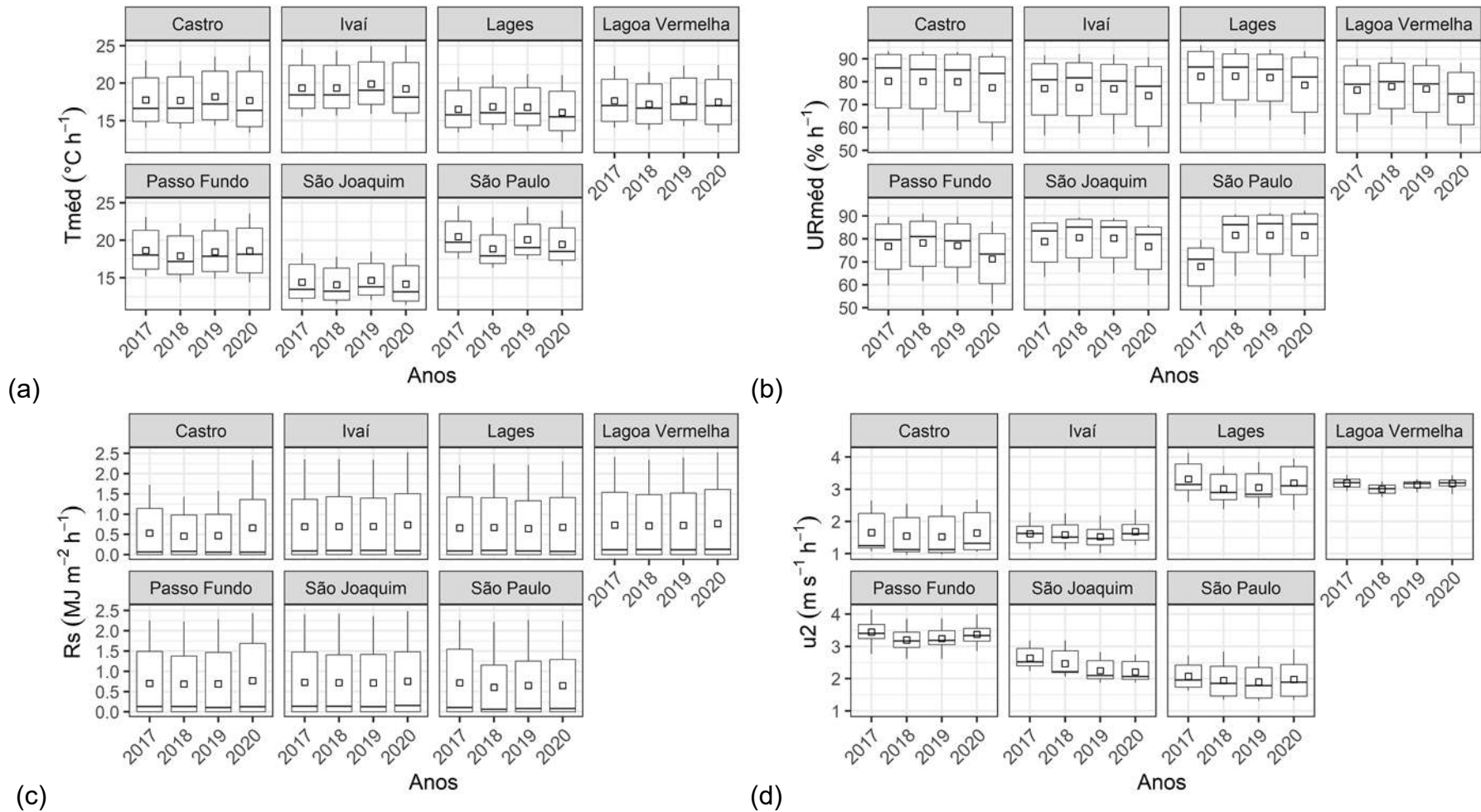
(c)



(d)

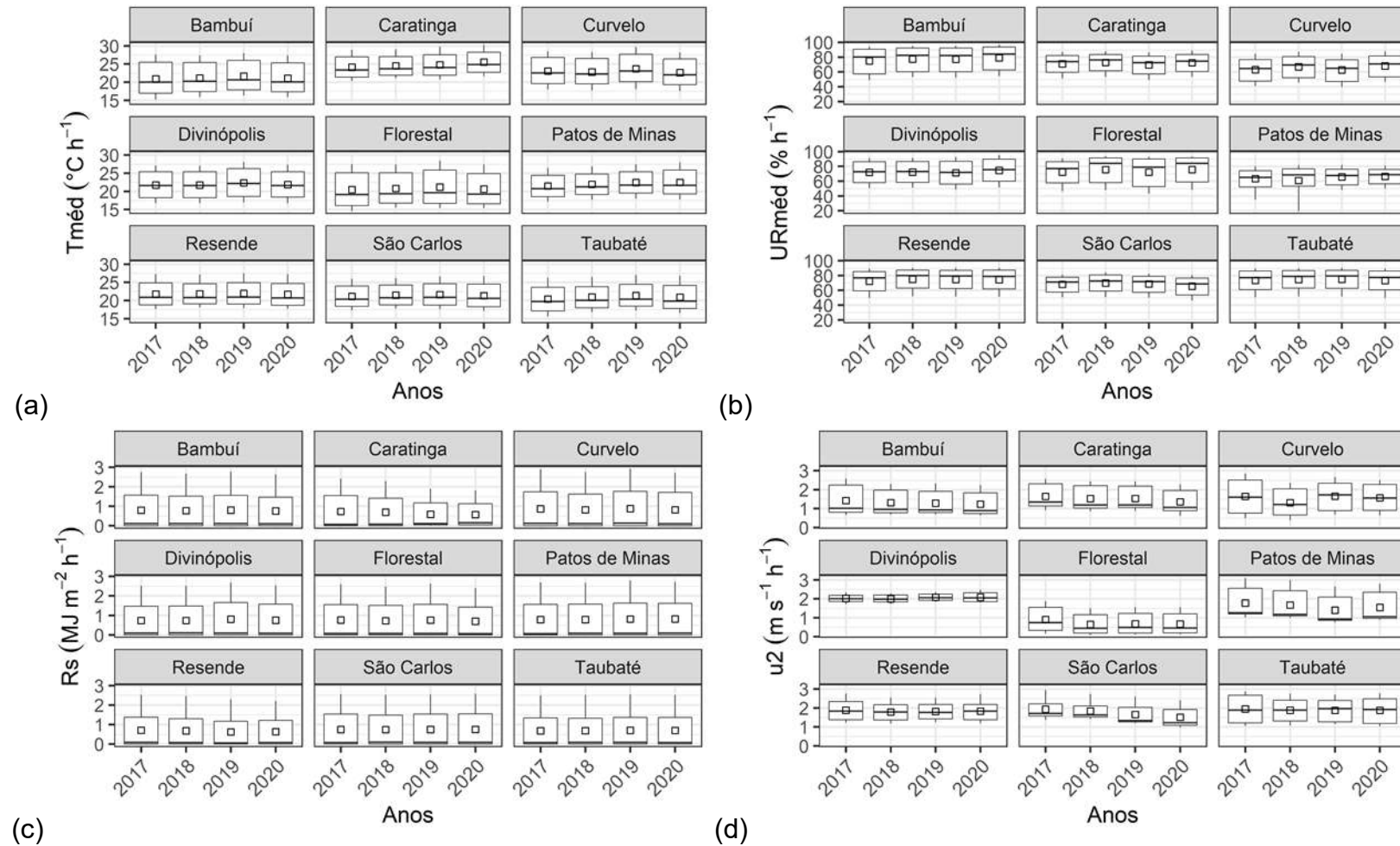
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A1.17 – OUTLIERS VERIFICADOS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA *Cfb*, POR ANO, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



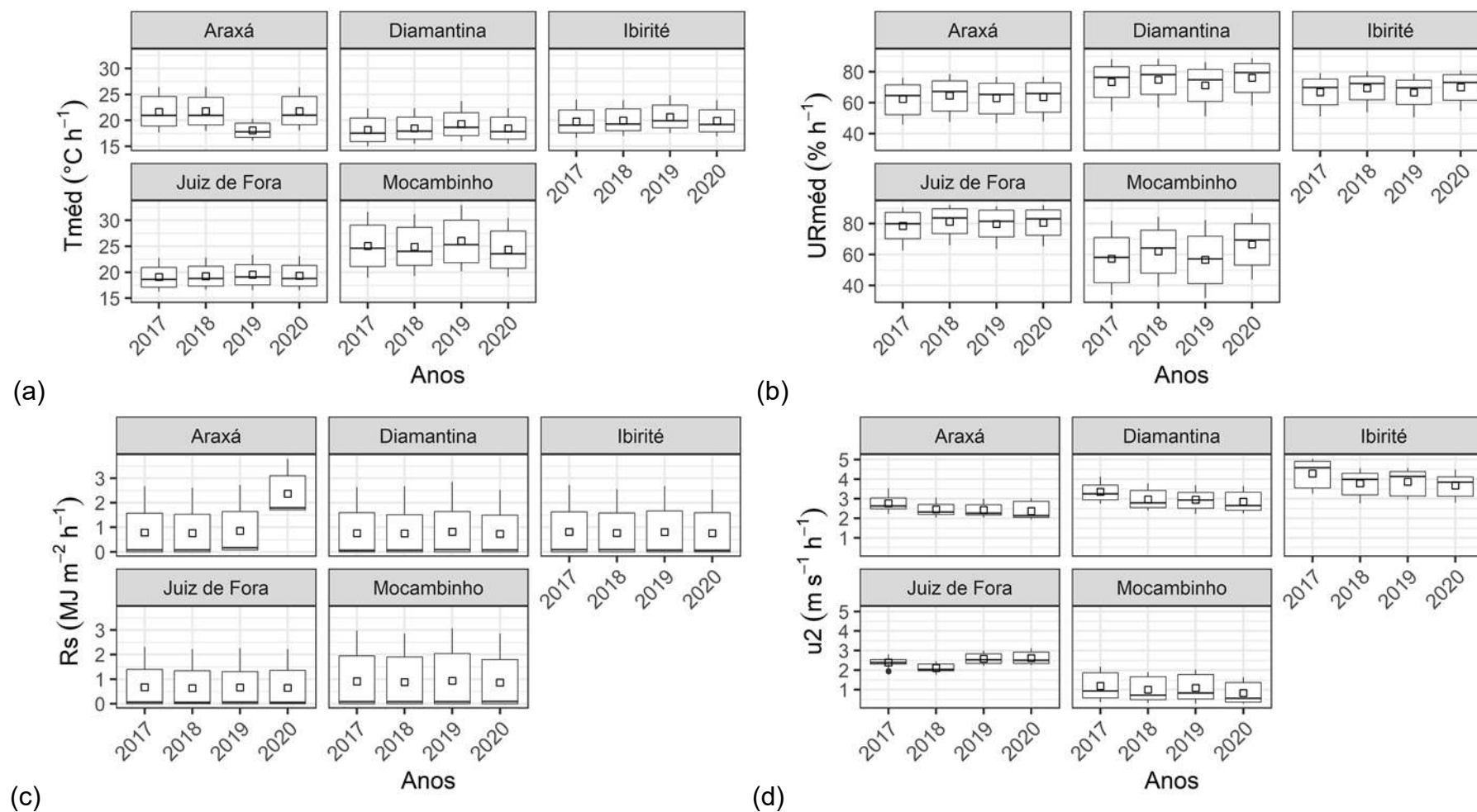
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A1.18 – *OUTLIERS* VERIFICADOS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA *Cwa*, POR ANO, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



Fonte: O autor (2024).

FIGURA A1.19 – *OUTLIERS* VERIFICADOS NOS VALORES HORÁRIOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NO CLIMA *Cwb*, POR ANO, PARA AS VARIÁVEIS ANALISADAS NO PERÍODO ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A 2 m DE ALTURA (u_2).



Fonte: O autor (2024).

APÊNDICE 2 – SCRIPT DESENVOLVIDO NO VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS (VBA-MACRO) DAS FUNCTIONS UTILIZADAS NOS MÓDULOS (*Módulo_{MJS-A}*, E *Módulo_{ETo.h-d}*)

QUADRO A2.1 – SCRIPTS DESENVOLVIDOS EM VBA-MACRO, DAS “FUNCTIONS” QUE ORGANIZAM OU CALCULAM AS VARIÁVEIS NECESSÁRIAS COMO ENTRADA PARA ESTIMAR A *ETo* NA PERIODICIDADE HORÁRIA E DIÁRIA, COM OS MODELOS *ASCE*, *MJS*, *PMR* E *TURC*.

```
Option Explicit
Public Function u2corrigido(Uz As String, Z As String)
    'Retorna ao valor da velocidade do vento corrigida (U2; m); sendo:
    'Uz - Velocidade do vento que não foi medida a 2m de altura (m s-1);
    'Z - Altura em que a velocidade do vento foi medida (m)
    u2corrigido = (Uz * (4.87 / (Log(67.8 * Z - 5.42))))
End Function
Public Sub RegisterVento()
    'Descrevendo os argumentos e a function
    Application.MacroOptions Macro:="u2corrigido", _
    Description:="Retorna ao valor da velocidade do vento corrigida (u2; 2m)", _
    Category:=7, _
    ArgumentDescriptions:=Array("Velocidade do vento que não foi medida a 2m de altura (m s-1)", "Altura em que a velocidade do vento foi medida")
End Sub
Public Function PressãoATM(Z As String)
    'Retorna ao valor da pressão atmosférica; sendo:
    'Z - Altitude (m)
    PressãoATM = 101.3 * ((293 - 0.0065 * Z) / 293) ^ 5.26
End Function
Public Sub RegisterPressãoATM()
    'Descrevendo os argumentos e a function
    Application.MacroOptions Macro:="PressãoATM", _
    Description:="Retorna ao valor da pressão atmosférica (kPa)", _
    Category:=7, _
    ArgumentDescriptions:=Array("Altitude ( m )")
End Sub
Public Function DeltaCurvaPV(Tméd As String)
    'Declinação da curva de pressão de saturação de vapor (Delta); sendo:
    'Tméd - Temperatura média do ar (oC h-1)
    DeltaCurvaPV = (2503 * Exp((17.27 * Tméd) / (Tméd + 237.3))) / (Tméd + 237.3) ^ 2
End Function
Public Sub RegisterDeltaCurvaPV()
    'Descrevendo os argumentos e a function
    Application.MacroOptions Macro:="DeltaCurvaPV", _
    Description:="Retorna ao valor da declinação da curva de pressão de saturação de vapor ( Delta; kPa)", _
    Category:=7, _
    ArgumentDescriptions:=Array("Temperatura média do ar (oC h-1)")
End Sub
Public Function es(Tmáx As String, Tmín As String)
    'Retorna ao valor da pressão de saturação de vapor (es; kPa); sendo:
    'Tmáx - Temperatura máxima do ar (oC h-1);
    'Tmín - Temperatura mínima do ar (oC h-1)
    es = (0.6108 * Exp((17.27 * Tmáx) / (Tmáx + 237.3)) + 0.6108 * Exp((17.27 * Tmín) / (Tmín + 237.3))) / 2
End Function
Public Sub RegisterES()
    'Descrevendo os argumentos e a function
    Application.MacroOptions Macro:="es", _
    Description:="Retorna ao valor da pressão de saturação de vapor (es; kPa)", _
```

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: QUADRO A2.1 – *SCRIPTS* DESENVOLVIDOS EM VBA-MACRO, DAS “*FUNCTIONS*” QUE ORGANIZAM OU CALCULAM AS VARIÁVEIS NECESSÁRIAS COMO ENTRADA PARA ESTIMAR A *ET_o* NA PERIODICIDADE HORÁRIA E DIÁRIA, COM OS MODELOS ASCE, MJS, PMR E TURC.

```

Category:=7, _
ArgumentDescriptions:=Array("Temperatura máxima do ar (oC h^-1)", "Temperatura mínima
do ar (oC h^-1)")
End Sub
Public Function ea(Tmáx As String, Tmín As String, URmáx As String, URmín As String)
'Retorna ao valor da PRESSÃO ATUAL de vapor (ea; kPa); sendo:
'Tmáx - Temperatura máxima do ar (oC h^-1);
'Tmín - Temperatura mínima do ar (oC h^-1);
'URmáx - Umidade relativa máxima do ar (% h^-1);e
'URmín - Umidade relativa do ar (% h^-1)
ea = (0.6108 * Exp((17.27 * Tmáx) / (Tmáx + 237.3)) * (URmín / 100) + 0.6108 * Exp((17.27 *
Tmín) / (Tmín + 237.3)) * (URmáx / 100)) / 2
End Function
Public Sub RegisterEA()
'Descrevendo os argumentos e a function
Application.MacroOptions Macro:="ea", _
Description:="Retorna ao valor da pressão atual de vapor, em kPa", _
Category:=7, _
ArgumentDescriptions:=Array("Temperatura máxima do ar (oC h^-1)", "Temperatura mínima
do ar (oC h^-1)", "Umidade relativa máxima do ar (% h^-1)", "Umidade relativa mínima do ar
(% h^-1)")
End Sub
Public Function Sc(J As String)
'Retorna ao valor da PRESSÃO ATUAL de vapor (ea; kPa); sendo:
'J - Dias juliano
Sc = 0.1645 * Sin(2 * (2 * Application.WorksheetFunction.Pi * (J - 81)) / 364) - 0.1255 * Cos(2
* Application.WorksheetFunction.Pi * (J - 81) / 364) - 0.025 * Sin(2 *
Application.WorksheetFunction.Pi * (J - 81) / 364)
End Function
Public Sub RegisterSc()
'Descrevendo os argumentos e a function
Application.MacroOptions Macro:="Sc", _
Description:="Correção sazonal para o tempo solar (h)", _
Category:=7, _
ArgumentDescriptions:=Array("Dia juliano")
End Sub
Public Function W(tmédio As String, Lz As String, Lm As String, Sc As String)
'Retorna ao valor do ângulo de tempo solar no tempo médio do período (radianos); sendo:
'tmédio - Tempo padrão no ponto do período (h);
'Lz - Longitude do centro do fuso local (graus positivos a oeste de Greenwich);
'Lm - Longitude do local onde se mediu a rotação solar (graus positivos a oeste de
Greenwich);e
'Sc - Correção sazonal para o tempo solar (h)
W = (Application.WorksheetFunction.Pi / 12) * ((tmédio + 0.06667 * (Lz - Lm) + Sc) - 12)
End Function
Public Sub RegisterW()
'Descrevendo os argumentos e a function
Application.MacroOptions Macro:="W", _
Description:="Ângulo de tempo solar no tempo médio do período (radianos)", _
Category:=7, _
ArgumentDescriptions:=Array("Tempo padrão no ponto do período (h)", "Longitude do centro
do fuso local (graus positivos a oeste de Greenwich)", "Longitude do local onde se mediu a
rotação solar (graus positivos a oeste de Greenwich)", "Correção sazonal para o tempo solar
(h)")

```

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: QUADRO A2.1 – *SCRIPTS* DESENVOLVIDOS EM VBA-MACRO, DAS “*FUNCTIONS*” QUE ORGANIZAM OU CALCULAM AS VARIÁVEIS NECESSÁRIAS COMO ENTRADA PARA ESTIMAR A *ET_o* NA PERIODICIDADE HORÁRIA E DIÁRIA, COM OS MODELOS *ASCE*, *MJS*, *PMR* E *TURC*.

```
End Sub
Public Function DeclinSolar(J As String)
    'Retorna ao valor da declinação solar (radianos); sendo:
    'J - Dias juliano
    DeclinSolar = 0.409 * Sin(((2 * Application.WorksheetFunction.Pi) / 365) * J - 1.39)
End Function
Public Sub RegisterDeclinSolar()
    'Descrevendo os argumentos e a function
    Application.MacroOptions Macro:="DeclinSolar", _
    Description:="Declinação solar (radianos)", _
    Category:=7, _
    ArgumentDescriptions:=Array("Dia juliano")
End Sub
Public Function DrTS(J As String)
    'Retorna ao valor da distância relativa Terra-Sol (adimensional); sendo:
    'J - Dias juliano
    DrTS = 1 + 0.033 * Cos(((2 * Application.WorksheetFunction.Pi) / 365) * J)
End Function
Public Sub RegisterDrTS()
    'Descrevendo os argumentos e a function
    Application.MacroOptions Macro:="DrTS", _
    Description:="Distância relativa Terra-Sol (Adimensional)", _
    Category:=7, _
    ArgumentDescriptions:=Array("Dia juliano")
End Sub
Public Function Ws(Latitude As String, DeclinSolar As String)
    'Retorna ao ângulo horário correspondente ao pôr do Sol(Radianos); sendo:
    'Latitude - Latitude (m);
    'DeclinSolar - Declinação solar (radianos)
    Ws = WorksheetFunction.Acos((-Tan(Latitude) * Tan(DeclinSolar)))
End Function
    'Descrevendo os argumentos e a function
Public Sub RegisterWs()
    Application.MacroOptions Macro:="Ws", _
    Description:="Ângulo horário correspondente ao pôr do Sol(Radianos)", _
    Category:=7, _
    ArgumentDescriptions:=Array("Latitude (radianos)", "Declinação solar (radianos)")
End Sub
Public Function W1angulo(W As String, t1 As String)
    'Retorna ao ângulo horário correspondente ao início do pôr do Sol(Radianos); sendo:
    'W - Ângulo de tempo solar no tempo médio do período (radianos);
    't1 - Comprimento do período (h)
    W1angulo = W - ((Application.WorksheetFunction.Pi * t1) / 24)
End Function
Public Sub RegisterW1angulo()
    'Descrevendo os argumentos e a function
    Application.MacroOptions Macro:="W1angulo", _
    Description:="Ângulo de tempo solar no início do período (Radianos)", _
    Category:=7, _
    ArgumentDescriptions:=Array("Ângulo de tempo solar no tempo médio do período (radianos)", "Comprimento do período (h)")
End Sub
Public Function W2angulo(W As String, t1 As String)
```

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: QUADRO A2.1 – *SCRIPTS* DESENVOLVIDOS EM VBA-MACRO, DAS “FUNCTIONS” QUE ORGANIZAM OU CALCULAM AS VARIÁVEIS NECESSÁRIAS COMO ENTRADA PARA ESTIMAR A *ET₀* NA PERIODICIDADE HORÁRIA E DIÁRIA, COM OS MODELOS ASCE, MJS, PMR E TURC.

```
'Retorna ao valor do ângulo horário correspondente ao fim do pôr do Sol(Radianos); sendo:
'W - Ângulo de tempo solar no tempo médio do período (radianos);
't1 - Comprimento do período (h)
W2angulo = W + ((Application.WorksheetFunction.Pi * t1) / 24)
End Function
Public Sub RegisterW2angulo()
'Descrevendo os argumentos e a function
Application.MacroOptions Macro:="W2angulo", _
Description:="Ângulo de tempo solar no fim do período (Radianos)", _
Category:=7, _
ArgumentDescriptions:=Array("Ângulo de tempo solar no tempo médio do período
(radianos)", "Comprimento do período (h)")
End Sub
Public Function W1corrigido(Ws As String, W1angulo As String, W2angulo As String)
'Retorna à correção do ângulo de início do pôr do Sol (Radianos); sendo:
'Ws - Ângulo horário correspondente ao pôr do Sol(Radianos);
'W1angulo - Ângulo de tempo solar no início do período (Radianos); e
'W2angulo - Ângulo de tempo solar no fim do período (Radianos)
If W1angulo < -Ws Then
W1corrigido = -Ws
ElseIf W1angulo > Ws Then
W1corrigido = Ws
ElseIf W1angulo > W2angulo Then
W1corrigido = W2angulo
Else: W1corrigido = W1angulo
End If
End Function
Public Sub RegisterW1corrigido()
'Descrevendo os argumentos e a function
Application.MacroOptions Macro:="W1corrigido", _
Description:="Correção do ângulo de início do pôr do Sol (Radianos)", _
Category:=7, _
ArgumentDescriptions:=Array("Ângulo horário correspondente ao pôr do Sol(Radianos)",
"Ângulo de tempo solar no início do período (Radianos)", "Ângulo de tempo solar no fim do
período (Radianos)")
End Sub
Public Function W2corrigido(Ws As String, W2angulo As String)
'Retorna ao valor corrigido do ângulo de fim do pôr do Sol (Radianos); sendo:
'Ws - Ângulo horário correspondente ao pôr do Sol(Radianos); e
'W2angulo - Ângulo de tempo solar no fim do período (Radianos)
If W2angulo < -Ws Then
W2corrigido = -Ws
ElseIf W2angulo > Ws Then
W2corrigido = Ws
Else: W2corrigido = W2angulo
End If
End Function
Public Sub RegisterW2corrigido()
'Descrevendo os argumentos e a function
Application.MacroOptions Macro:="W2corrigido", _
Description:="Correção do ângulo de fim do pôr do Sol (Radianos)", _
Category:=7, _
```

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: QUADRO A2.1 – *SCRIPTS* DESENVOLVIDOS EM VBA-MACRO, DAS “*FUNCTIONS*” QUE ORGANIZAM OU CALCULAM AS VARIÁVEIS NECESSÁRIAS COMO ENTRADA PARA ESTIMAR A *ET_o* NA PERIODICIDADE HORÁRIA E DIÁRIA, COM OS MODELOS *ASCE*, *MJS*, *PMR* E *TURC*.

```
ArgumentDescriptions:=Array("Ângulo horário correspondente ao pôr do Sol(Radianos)",
"Ângulo de tempo solar no fim do período (Radianos)")
End Sub
Public Function Ra(Gsc As String, DrTS As String, W2corrigido As String, W1corrigido As
String, Latitude As String, DeclinSolar As String)
'Radiação solar do topo da atmosfera ( MJ m h-1 ou dia-1); sendo:
'Gsc - Constante solar (4.92 MJ m-2 h-1 ou dia-1);
'DrTS - Distância relativa Terra Sol (Adimensional);
'W2corrigido - Valor corrigido do ângulo de fim do pôr do Sol (Radianos);
'W1corrigido - Valor corrigido do ângulo de início do pôr do Sol (Radianos);
'Latitude - Latitude (Radianos);
'DclinSolar - Declinação solar (Radianos)
Ra = ((12 / Application.WorksheetFunction.Pi) * Gsc * DrTS * ((W2corrigido - W1corrigido) *
Sin(Latitude) * Sin(DeclinSolar) + Cos(Latitude) * Cos(DeclinSolar) * (Sin(W2corrigido) -
Sin(W1corrigido))))
End Function
Public Sub RegisterRa()
'Descrevendo os argumentos e a function
Application.MacroOptions Macro:="Ra", _
Description:="Radiação solar do topo da atmosfera ( MJ m-2 h-1 ou dia-1)", _
Category:=7, _
ArgumentDescriptions:=Array("Constante solar (4.92 MJ m-2 h-1 ou dia-1)", "Distância
relativa Terra Sol (Adimensional)", "Valor corrigido do ângulo de fim do pôr do Sol
(Radianos)", "Valor corrigido do ângulo de início do pôr do Sol (Radianos)", "Latitude
(Radianos)", "Declinação solar (Radianos)")
End Sub
Public Function Rso(Z As String, Ra As String)
'Retorna ao valor da radiação solar em céu sem nuvens ( MJ m-2 h-1 ou dia-1); sendo:
'Z - Altitude do local (m);
'Ra - Radiação solar no topo da atmosfera (MJ m-2 h-1 ou dia-1)
Rso = (0.75 + 2 * 0.00001 * Z) * Ra
End Function
Public Sub RegisterRso()
'Descrevendo os argumentos e a function
Application.MacroOptions Macro:="Rso", _
Description:="Radiação solar em céu sem nuvens ( MJ m-2 min-1)", _
Category:=7, _
ArgumentDescriptions:=Array("Altitude do local (m)", "Radiação solar no topo da atmosfera
(MJ m-2 h-1 ou dia-1)")
End Sub
Public Function Beta(Latitude As String, DeclinSolar As String, W As String)
'Retorna ao ângulo do sol acima do horizonte no ponto médio (Radianos); sendo:
'Latitude - Latitude (radianos);
'DclinSolar - Declinação solar (radianos); e
'W - Ângulo de tempo solar no tempo médio do período (Radianos)
Beta = WorksheetFunction.Asin(Sin(Latitude) * Sin(DeclinSolar) + Cos(Latitude) *
Cos(DeclinSolar) * Cos(W))
End Function
Public Sub RegisterBeta()
'Descrevendo os argumentos e a function
Application.MacroOptions Macro:="Beta", _
Description:="Ângulo do sol acima do horizonte no ponto médio (Radianos)", _
Category:=7, _
```

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: QUADRO A2.1 – *SCRIPTS* DESENVOLVIDOS EM VBA-MACRO, DAS “FUNCTIONS” QUE ORGANIZAM OU CALCULAM AS VARIÁVEIS NECESSÁRIAS COMO ENTRADA PARA ESTIMAR A *ET_o* NA PERIODICIDADE HORÁRIA E DIÁRIA, COM OS MODELOS ASCE, MJS, PMR E TURC.

```

ArgumentDescriptions:=Array("Latitude (radianos)", "Declinação solar (radianos)", "Ângulo de
tempo solar no tempo médio do período (Radianos)")
End Sub
Public Function Rnl(StefanBConst As String, fcd As String, ea As String, Tmédia As String)
'Saldo de radiação de ondas longas (Rnl; MJ m^-2 h^-1 ou dia^-1); sendo:
'StefanBConst - Constante Stefan-Boltzman (MJ m^-2 h^-1 ou dia^-1);
'fcd - Função cloudiness (adimensional);
'ea - Pressão atual de vapor (kPa); e
'Tmédia - Temperatura média (K)
Rnl = StefanBConst * fcd * (0.34 - 0.14 * Sqr(ea)) * (Tmédia + 273.16) ^ 4
End Function
Public Sub RegisterRnl()
'Descrevendo os argumentos e a function
Application.MacroOptions Macro:="Rnl", _
Description:="Saldo de radiação de ondas longas (MJ m^-2 h^-1)", _
Category:=7, _
ArgumentDescriptions:=Array("Constante Stefan-Boltzman (MJ m^-2 h^-1)", "Função
cloudiness (adimensional)", "Pressão atual de vapor (kPa)", "Temperatura média (K)")
End Sub
Public Function Rns(Albedo As String, Rs As String)
'Retorna ao valor do saldo de radiação de ondas curtas (Rns; MJ m^-2 h^-1); sendo:
'Albedo - Albedo ou coeficiente de reflexão da cultura hipotética (Adimensional); e
'Rs - Radiação solar incidente (MJ m^-2 h^-1)
Rns = (1 - Albedo) * Rs
End Function
Public Sub RegisterRns()
'Descrevendo os argumentos e a function
Application.MacroOptions Macro:="Rns", _
Description:="Saldo de radiação de ondas curtas (MJ m^-2 h^-1 ou dia^-1)", _
Category:=7, _
ArgumentDescriptions:=Array("Albedo ou coeficiente de reflexão da cultura hipotética
(Adimensional)", "Radiação solar incidente (MJ m^-2 h^-1)")
End Sub
Public Function Yar(Tméd As String, ea As String, es As String)
'Retorna ao valor do potencial hídrico (Yar; MPa); sendo:
'Tméd - Temperatura média do ar(oC);
'ea - Pressão atual de vapor (kPa); e
'es - Pressão de saturação de vapor (kPa)
Yar = ((8.314 * Tméd) / 0.000018) * Log(ea / es)
End Function
Public Sub RegisterYar()
'Descrevendo os argumentos e a function
Application.MacroOptions Macro:="Yar", _
Description:="Retorna ao valor do potencial hídrico (Yar; MPa)", _
Category:=7, _
ArgumentDescriptions:=Array("Temperatura média do ar(oC)", "Pressão atual de vapor
(kPa)", "Pressão de saturação de vapor (kPa)")
End Sub
Public Sub RegisterEToPMRh()
'Descrevendo os argumentos e a function
Application.MacroOptions Macro:="EToPMRh", _

```

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: QUADRO A2.1 – *SCRIPTS* DESENVOLVIDOS EM VBA-MACRO, DAS “*FUNCTIONS*” QUE ORGANIZAM OU CALCULAM AS VARIÁVEIS NECESSÁRIAS COMO ENTRADA PARA ESTIMAR A *ET_o* NA PERIODICIDADE HORÁRIA E DIÁRIA, COM OS MODELOS *ASCE*, *MJS*, *PMR* E *TURC*.

```

Description:="Retorna ao valor da evapotranspiração de referência pelo PMR (EToPMR; h-1)", _
Category:=7, _
ArgumentDescriptions:=Array("Valor Delta, médio da hora, referente a declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar (kPa oC)", "Radiação líquida na superfície, médio da hora, (MJ m-2 h-1)", "Constante psicométrica (kPa oC)", "Constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados(Adimensional)", "Temperatura média(oC)", "Velocidade do vento a 2m, médio da hora, (m s-1)", "Pressão de saturação de vapor, médio da hora, (kPa)", "Pressão atual de vapor, médio da hora, (kPa)", "Constante relacionada a superfície de referência e intervalo horário durante o dia(Adimensional)", "Constante relacionada a superfície de referência e intervalo horário durante a noite (Adimensional)")
End Sub
Public Function Rad(Gsc As String, DrTS As String, Ws As String, Latitude As String, DeclinSolar As String)
    'Radiação solar do topo da atmosfera ( MJ m dia-1); sendo:
    'Gsc - Constante solar (4.92 MJ m-2 dia-1);
    'DrTS - Distância relativa Terra Sol (Adimensional);
    'Ws - Ângulo horário correspondente ao pôr do Sol(Radianos);
    'Latitude - Latitude (Radianos);
    'DeclinSolar - Declinação solar (Radianos)
    Rad = ((24 / Application.WorksheetFunction.Pi) * Gsc * DrTS * (Ws * Sin(Latitude) * Sin(DeclinSolar) + Cos(Latitude) * Cos(DeclinSolar) * Sin(Ws)))
End Function
Public Sub RegisterRad()
    'Descrevendo os argumentos e a function
    Application.MacroOptions Macro:="Rad", _
    Description:="Radiação solar do topo da atmosfera em periodicidade diária ( MJ m-2 dia-1)", _
    Category:=7, _
    ArgumentDescriptions:=Array("Constante solar (4.92 MJ m-2 dia-1)", "Distância relativa Terra Sol (Adimensional)", "Ângulo horário correspondente ao pôr do Sol(Radianos)", "Latitude (Radianos)", "Declinação solar (Radianos)")
End Sub

```

Fonte: O autor (2024).

QUADRO A2.2 – *SCRIPTS* DESENVOLVIDOS EM *VBA-MACRO*, DAS “*FUNCTIONS*” QUE CALCULAM A *ET_o* NA PERIODICIDADE HORÁRIA OU DIÁRIA, COM OS MODELOS *ASCE*, *MJS*, *PMR* E *TURC*.

```
Option Explicit
Public Function EToASCE(DeltaCurvaPV As String, Rn As String, ConstPsic As String, cn As String, Tméd As String, u2corrigido As String, es As String, ea As String, Cddia As String, Cdnoite As String)
    'Retorna ao valor da evapotranspiração de referência ASCE (mm h-1); sendo:
    'DeltaCurvaPV - Valor Delta referente a declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar (kPa oC);
    'Rn - Radiação líquida na superfície (MJ m-2 h-1);
    'ConstPsic - Constante psicométrica (kPa oC);
    'Cn - Constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados (Adimensional);
    'Tméd - Temperatura média (oC);
    'u2corrigido - Velocidade do vento a 2m (m s-1);
    'es - Pressão de saturação de vapor (kPa);
    'ea - Pressão atual de vapor (kPa);
    'Cddia - Constante relacionada a superfície de referência e intervalo horário durante o dia(Adimensional); e
    'Cdnoite - Constante relacionada a superfície de referência e intervalo horário durante a noite (Adimensional)
    If Rn < 0 Then
        EToASCE = (0.408 * DeltaCurvaPV * (Rn - (Rn * 0.5)) + ConstPsic * (cn / (Tméd + 273)) * u2corrigido * (es - ea)) / (DeltaCurvaPV + ConstPsic * (1 + Cdnoite * u2corrigido))
    Else
        EToASCE = (0.408 * DeltaCurvaPV * (Rn - (Rn * 0.1)) + ConstPsic * (cn / (Tméd + 273)) * u2corrigido * (es - ea)) / (DeltaCurvaPV + ConstPsic * (1 + Cddia * u2corrigido))
    End If
End Function

Public Sub RegisterEToASCE()
    'Descrevendo os argumentos e a function
    Application.MacroOptions Macro:="EToASCE", _
    Description:="Evapotranspiração de referência ASCE (mm h-1)", _
    Category:=7, _
    ArgumentDescriptions:=Array("Valor Delta referente a declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar (kPa oC)", "Radiação líquida na superfície (MJ m-2 h-1)", "Constante psicométrica (kPa oC)", "Constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados(Adimensional)", "Temperatura média (oC)", "Velocidade do vento a 2m (m s-1)", "Pressão de saturação de vapor (kPa)", "Pressão atual de vapor (kPa)", "Constante relacionada a superfície de referência e intervalo horário durante o dia(Adimensional)", "Constante relacionada a superfície de referência e intervalo horário durante a noite (Adimensional)")
End Sub

Public Function EToASCEd(DeltaCurvaPV As String, Rn As String, G As String, ConstPsic As String, cn As String, Tméd As String, u2corrigido As String, es As String, ea As String, Cd As String)
    'Retorna ao valor da evapotranspiração de referência ASCE diária (mm dia-1); sendo:
    'DeltaCurvaPV- Valor Delta referente a declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar (kPa oC);
    'Rn - Radiação líquida na superfície (MJ m-2 dia-1);
    'G - Fluxo de calor no solo (MJ m-2 dia-1);
    'ConstPsic - Constante psicométrica (kPa oC);
    'Cn - Constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados(Adimensional);
    'Tméd - Temperatura média (oC);
    'u2corrigido - Velocidade do vento a 2m (m s-1);
    'es - Pressão de saturação de vapor (kPa);
```

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: QUADRO A2.2 – *SCRIPTS* DESENVOLVIDOS EM VBA-MACRO, DAS “FUNCTIONS” QUE CALCULAM A *ET_o* NA PERIODICIDADE HORÁRIA OU DIÁRIA, COM OS MODELOS ASCE, MJS, PMR E TURC.

```
'ea - Pressão atual de vapor (kPa);e
'Cd - Constante relacionada a superfície de referência e intervalo diário(Adimensional.
  EToASCEd = (0.408 * DeltaCurvaPV * (Rn - G) + ConstPsic * (cn / (Tméd + 273))) *
  u2corrigido * (es - ea)) / (DeltaCurvaPV + ConstPsic * (1 + Cd * u2corrigido))
End Function
Public Sub RegisterEToASCEd()
  'Descrevendo os argumentos e a function
  Application.MacroOptions Macro:="EToASCEd", _
  Description:="Evapotranspiração de referência ASCE (mm dia^-1)", _
  Category:=7, _
  ArgumentDescriptions:=Array("Valor Delta referente a declividade da curva de pressão de
  vapor da água à temperatura do ar (kPa oC)", "Radiação líquida na superfície (MJ m^-2 dia^-
  1)", "Fluxo de calor no solo (MJ m^-2 dia^-1)", "Constante psicométrica (kPa oC)",
  "Constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados
  (Adimensional)", "Temperatura média (oC)", "Velocidade do vento a 2m (m s^-1)", "Pressão
  de saturação de vapor (kPa)", "Pressão atual de vapor (kPa)", "Constante relacionada a
  superfície de referência e intervalo diário(Adimensional)")
End Sub
Public Function EToMJShLinear(A As String, B As String, Yar As String)
  'Retorna ao valor EToh MJS linear (mm h^-1); sendo:
  'A - Coeficiente linear obtido em regressão linear (mm h^-1);
  'B - Coeficiente angular obtido em regressão linear (Adimensional); e
  'Yar - Potencial hídrico (MPa)
  EToMJShLinear = A + (B * Yar)
End Function
Public Sub RegisterEToMJShlinear()
  'Descrevendo os argumentos e a function
  Application.MacroOptions Macro:="EToMJShLinear", _
  Description:="Retorna ao valor da evapotranspiração de referência horária com o modelo
  MJS linear (EToMJSh; mm/hora)", _
  Category:=7, _
  ArgumentDescriptions:=Array("Coeficiente linear obtido em regressão linear (mm h^-1)",
  "Coeficiente angular obtido em regressão linear (Adimensional)", "Potencial hídrico (MPa)")
End Sub
Public Function EToMJShQuadrático(A As String, B As String, C As String, Yar As String)
  'Retorna ao valor EToh MJS quadrático (mm h^-1); sendo:
  'A - Coeficiente linear obtido em regressão quadrática (mm h^-1);
  'B - Coeficiente angular obtido em regressão quadrática (Adimensional);
  'C - Coeficiente C obtido em regressão quadrática (Adimensional); e
  'Yar - Potencial hídrico (MPa)
  EToMJShQuadrático = (A * ((Yar ^ 2)) + (B * Yar) + C
End Function
Public Sub RegisterEToMJShQuadrático()
  'Descrevendo os argumentos e a function
  Application.MacroOptions Macro:="EToMJShQuadrático", _
  Description:="Retorna ao valor da evapotranspiração de referência horária com o modelo
  MJS linear (EToMJSh; mm/hora)", _
  Category:=7, _
  ArgumentDescriptions:=Array("Coeficiente a obtido em regressão quadrática (mm h^-1)",
  "Coeficiente b obtido em regressão quadrática (Adimensional)", "Coeficiente c obtido em
  regressão quadrática (Adimensional)", "Potencial hídrico")
End Sub
Public Function EToTCah(Tméd As String, Rs As String)
  'Retorna ao valor EToh com o modelo Turc ajustado:
  'Tméd - Temperatura média por hora (oC);
  'Rs - Radiação solar incidente (MJ m^-2 hora^-1);
```

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: QUADRO A2.2 – *SCRIPTS* DESENVOLVIDOS EM *VBA-MACRO*, DAS “*FUNCTIONS*” QUE CALCULAM A *ET_o* NA PERIODICIDADE HORÁRIA OU DIÁRIA, COM OS MODELOS *ASCE*, *MJS*, *PMR* E *TURC*.

```
EToTCah = 0.00055 * (Tméd / (Tméd + 15)) * (573.12 * Rs + 50)
End Function
Public Sub RegisterEToTCah()
    'Descrevendo os argumentos e a function
    Application.MacroOptions Macro:="EToTCah", _
    Description:="Retorna ao valor da evapotranspiração de referência horária com o modelo
    Turc ajustado (EToTCah; mm/hora)", _
    Category:=7, _
    ArgumentDescriptions:=Array("Temperatura média por hora (oC)", "Radiação solar incidente
    (MJ m^-2 hora^-1)")
End Sub
Public Function EToTCd(Tméd As String, Rs As String)
    'Retorna ao valor ETod com o modelo Turc ajustado:
    'Tméd - Temperatura média por dia (oC);
    'Rs - Radiação solar incidente (MJ m^-2 dia^-1);
    EToTCd = 0.013 * (Tméd / (Tméd + 15)) * (23.88 * Rs + 50)
End Function
Public Sub RegisterEToTCd()
    'Descrevendo os argumentos e a function
    Application.MacroOptions Macro:="EToTCd", _
    Description:="Retorna ao valor da evapotranspiração de referência horária com o modelo
    Turc ajustado (EToTCd; mm/dia)", _
    Category:=7, _
    ArgumentDescriptions:=Array("Temperatura média por hora (oC)", "Radiação solar incidente
    (MJ m^-2 dia^-1)")
End Sub
```

APÊNDICE 3 – ROTEIRO PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA (ET_{od}) E HORÁRIA (ET_{oh}) COM O MODELO PENMAN-MONTEITH, PROPOSTO PELA AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE-EWRI, 2005)

O modelo Penman-Monteith consiste na equação geral:

$$ET_{oASCE} = \frac{(0,408 \cdot \Delta \cdot (Rn - G) + \gamma \cdot \frac{Cn}{(T + 273)} \cdot u_2 \cdot (es - ea))}{\Delta + \gamma \cdot (1 + Cd \cdot u_2)}$$

Sendo: ET_{oASCE} – evapotranspiração de referência padronizada para cultura (mm h^{-1} ou mm dia^{-1}); Δ – declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); Rn – saldo de radiação solar na superfície ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); G – balanço do fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); γ – constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); T – temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$); u_2 – velocidade do vento a dois metros de altura ($\text{m s}^{-1} \text{h}^{-1}$ ou $\text{m s}^{-1} \text{dia}^{-1}$); es – pressão de saturação de vapor (kPa h^{-1} ou kPa dia^{-1}); ea – pressão atual do vapor (kPa h^{-1} ou kPa dia^{-1}); Cn e Cd – constantes relacionadas à superfície de referência e intervalo de tempo adotado (para plantas de porte baixo, como a grama: $Cn_h = 37 \text{ K mm s}^3 \text{Mg}^{-1} \text{h}^{-1}$ para periodicidade horária e $Cn_d = 900 \text{ K mm s}^3 \text{Mg}^{-1} \text{dia}^{-1}$ para periodicidade diária; e, $Cd_{diurno} = 0,24 \text{ s m}^{-1}$ no período diurno, $Cd_{noturno} = 0,96 \text{ s m}^{-1}$ no período noturno e $Cd_{diário} = 0,34 \text{ s m}^{-1}$ no período diário).

A determinação da pressão atmosférica (P) foi realizada com a simplificação da lei do gás ideal:

$$P = 101,3 \cdot \left(\frac{293 - 0,0065 \cdot Z}{293} \right)^{5,26}$$

Sendo: P – pressão atmosférica (kPa); Z – altitude (m).

A constante psicrométrica (γ) foi obtida com a equação:

$$\gamma = a \cdot P$$

Sendo: γ – constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); a – coeficiente dependente do tipo de ventilação do bulbo úmido ($a = 0,000665$ para psicrômetros de ventilação natural); P – pressão atmosférica (kPa).

A temperatura média diária ou horária do ar (T) foi obtida com a equação:

$$T = \frac{T_{m\acute{a}x} + T_{m\acute{i}n}}{2}$$

Sendo: T – Temperatura média horária ou diária do ar ($^{\circ}\text{C}$); $T_{m\acute{a}x}$ – Temperatura máxima horária ou diária do ar ($^{\circ}\text{C}$); $T_{m\acute{i}n}$ – Temperatura mínima horária ou diária do ar ($^{\circ}\text{C}$).

A declinação da curva de pressão de saturação do vapor (Δ) foi obtida com a equação:

$$\Delta = \frac{2503 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right)}{(T + 237,3)^2}$$

Sendo: Δ – declinação da curva de pressão de saturação do vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); T – temperatura média horária ou diária do ar ($^{\circ}\text{C}$).

O cálculo da pressão de saturação de vapor (es) foi realizado utilizando-se a equação:

$$es = 0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right)$$

Sendo: es – pressão de saturação do vapor (kPa); T – temperatura média horária ou diária do ar ($^{\circ}\text{C}$).

Obteve-se a pressão atual do vapor (ea) com dados horários ou diários de umidade relativa média do ar:

$$ea = \frac{UR}{100} \cdot es$$

Sendo: ea – pressão atual do vapor (kPa); UR – umidade relativa média horária ou diária do ar (%); es – pressão de saturação do vapor (kPa).

A correção sazonal foi feita com a equação:

$$S_c = 0,1645 \cdot \sin(2 \cdot b) - 0,1255 \cdot \cos(b) - 0,025 \cdot \sin(b)$$

Em que “ b ” foi calculado com a equação:

$$b = \frac{2\pi \cdot (J - 81)}{364}$$

Sendo: S_c – correção sazonal para o tempo solar (h); b – fator de correção (radianos); J – dia juliano (dias).

O ângulo de tempo solar no ponto médio do período (ω) foi calculado com a equação:

$$\omega = \frac{\pi}{12} \cdot [(t + 0,06667 \cdot (L_z - L_m) + S_c) - 12]$$

Sendo: ω – ângulo de tempo solar no tempo médio do período (radianos); t – tempo padrão no ponto médio do período (h); L_z – longitude do centro do fuso horário local (em graus positivos a oeste de Greenwich); L_m – longitude do local onde se mediu a radiação solar (graus positivos a oeste de Greenwich); S_c – correção sazonal para o tempo solar (h).

A distância relativa Terra-Sol (dr) e a declinação solar (δ) foram obtidas com as equações:

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

$$\delta = 0,409 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{365} \cdot J - 1,39\right)$$

Sendo: dr – distância relativa Terra-Sol (adimensional); δ – declinação solar (radianos); J – dia juliano (dias).

O ângulo horário correspondente ao pôr do Sol (ω_s) foi obtido com a expressão

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)]$$

Sendo: ω_s – ângulo horário correspondente ao pôr do Sol (radianos); φ – latitude (radianos); δ – declinação solar (radianos).

O ângulo de tempo solar no início e final de cada período (ω_1 e ω_2) foram obtidos com equações condicionantes:

$$\omega_1 = \omega - \left(\frac{\pi \cdot t}{24} \right)$$

$$\omega_2 = \omega + \left(\frac{\pi \cdot t}{24} \right)$$

Sendo: ω – ângulo de tempo solar no tempo médio do período (radianos; considerando as condições estabelecidas da TABELA A3.1); t – comprimento do período de cálculo.

TABELA A3.1 – CONDIÇÕES ESTABELECIDAS NO MANUAL ASCE (2005) PARA ω_1 E ω_2

Condições para ω_1 e ω_2
Se $\omega_1 < -\omega_s \rightarrow$ então $\omega_1 = -\omega_s$
Se $\omega_2 < -\omega_s \rightarrow$ então $\omega_2 = -\omega_s$
Se $\omega_1 > \omega_s \rightarrow$ então $\omega_1 = \omega_s$
Se $\omega_2 > \omega_s \rightarrow$ então $\omega_2 = \omega_s$
Se $\omega_1 > \omega_2 \rightarrow$ então $\omega_1 = \omega_2$

A radiação solar no topo da atmosfera (Ra) para períodos horários foi estimada com a equação:

$$Ra = \frac{12}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot d_r \cdot [(\omega_2 - \omega_1) \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot (\sin(\omega_2) - \sin(\omega_1))]$$

E na periodicidade diária conforme equação:

$$Ra = \frac{24}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot d_r \cdot [\omega_2 \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_s)]$$

Sendo: Ra – radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{min}^{-1}$); G_{sc} – constante solar ($4,92 \text{ MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); d_r – distância relativa Terra-Sol (adimensional); ω_s – ângulo horário correspondente ao pôr do Sol (radianos); φ – latitude (radianos); δ – declinação solar (radianos); ω_s – ângulo do pôr do Sol (radianos).

A radiação solar incidente (R_s), horária ou diária, foi medida nas estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A radiação solar em céu sem nuvens R_{so} ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), foi calculada com a expressão:

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

Sendo: R_{so} – radiação solar em céu sem nuvens ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); Z – altitude do local (m); R_a – radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

A função cloudiness (fcd), dada sua limitação, $0,05 \leq fcd \leq 1,0$, foi calculada com a expressão:

$$fcd = 1,35 \cdot \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35$$

Sendo: fcd – função cloudiness (adimensional), com limite $0,05 \leq fcd \leq 1,0$; R_s – radiação solar incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); R_{so} – radiação solar em céu sem nuvens ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

Para periodicidade horária foi considerado o ângulo do sol acima do horizonte no ponto médio do período, que foi calculado com a equação:

$$\beta = \arcsin[\sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot (\cos(\omega))]$$

Sendo: β – ângulo do sol acima do horizonte no ponto médio do período (radianos); φ – latitude (radianos); δ – declinação solar (radianos); ω – ângulo de tempo solar no tempo médio do período.

O valor de $fcd_{(\beta)} > 0,3$ foi determinado considerando a limitação no valor de β . Assim, o valor de fcd de β abaixo de 0,3, foi considerado igual ao valor do fcd na hora anterior, em que β foi maior que 0,3.

Assumindo que materiais que absorvem e emitem ondas longas estão em concentração constante, a equação utilizada para determinar o saldo de radiação de ondas longas para período horário e diário (R_{nl}) foi:

$$Rnl = \sigma \cdot fcd \cdot (0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{ea}) \cdot T_k^4$$

Sendo: Rnl – saldo de radiação de ondas longas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$); σ – constante de Stefan-Boltzmann ($2,042 \cdot 10^{-10} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$); fcd – função cloudiness (adimensional) com limite $0,05 \leq fcd \leq 1,0$; ea – pressão atual do vapor (kPa); T_k^4 – temperatura média absoluta registrada no período (K).

O saldo de radiação de ondas curtas (Rns) foi calculado com a expressão:

$$Rns = (1 - \alpha) \cdot Rs$$

Sendo: Rns – saldo de radiação de ondas curtas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); α – albedo ou coeficiente de reflexão da cultura hipotética (adimensional, $\alpha = 0,23$); Rs – radiação solar incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

O saldo de radiação (Rn) foi obtido com a equação:

$$Rn = Rns - Rnl$$

Sendo: Rn – saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); Rns – saldo de radiação de ondas curtas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); Rnl – saldo de radiação de ondas longas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

A equação de evapotranspiração de referência padronizada pela ASCE (Sociedade Americana de Engenheiros Civis) determina que o fluxo de calor (G) na periodicidade diária será igual a zero. Na periodicidade horária considera-se que os valores de $Rn = 0$ correspondem aos cálculos nos períodos noturnos. Assim, o G horário foi determinado com as equações:

$$(G - dia) \rightarrow ETos = Rn \cdot 0,1$$

$$(G - noite) \rightarrow ETos = Rn \cdot 0,5$$

$$(G - dia) \rightarrow ETrs = Rn \cdot 0,04$$

$$(G - noite) \rightarrow ETrs = Rn \cdot 0,2$$

Sendo: G – fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$); Rn – saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).

A velocidade do vento a 10 m acima da superfície do solo (u_z), foi corrigida para altura de dois metros (u_2) com a equação:

$$u_2 = u_z \cdot \left(\frac{4,87}{\ln(67,8 \cdot Z - 5,42)} \right)$$

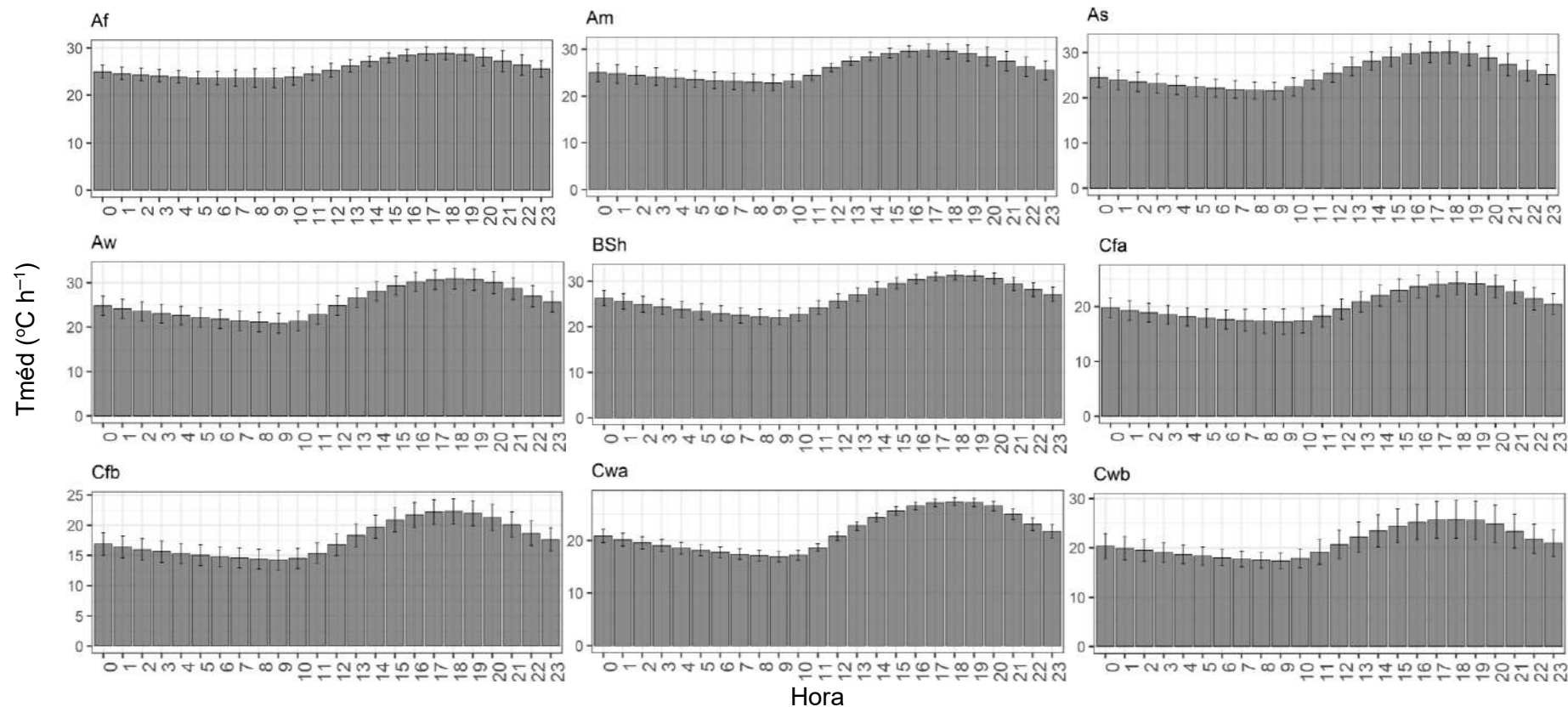
Sendo: u_2 – velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}); u_z – velocidade do vento “z” metros acima da superfície do solo (m s^{-1}); Z – altura da medida da velocidade do vento (m).

REFERÊNCIAS

ASCE-EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Report of the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. Reston: **Institute of the American Society of Civil Engineers**; 2005.

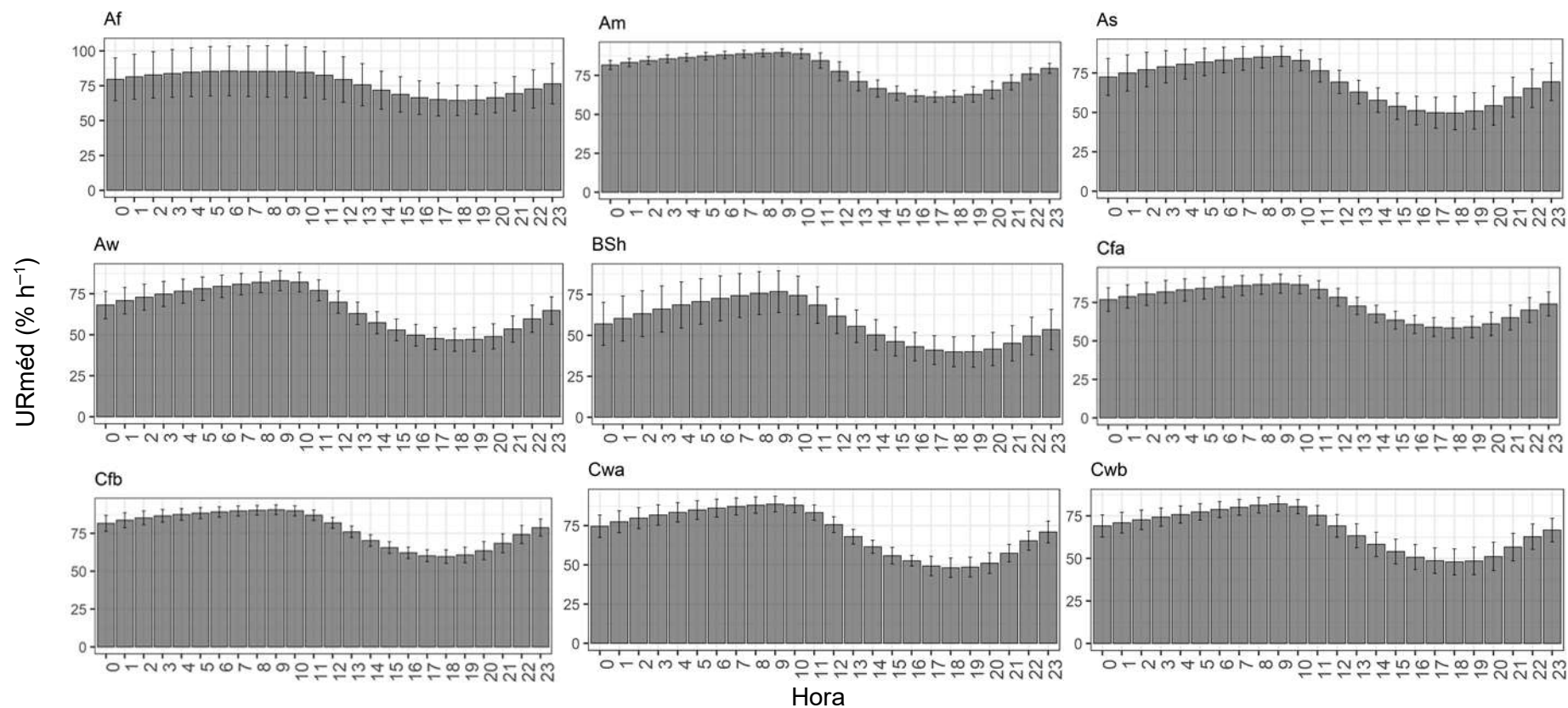
APÊNDICE 4 – MÉDIA HORÁRIA E ESTACIONAL DAS VARIÁVEIS DOS PRINCIPAIS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS

FIGURA A4.1 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{\text{méd}}$) E BARRA DE DESVIO PADRÃO, AO LONGO DAS HORAS (GMT), OBTIDA ENTRE 01/01/2017 A 31/12/2020, PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NOS CLIMAS BRASILEIROS *Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* E *Cwb*.



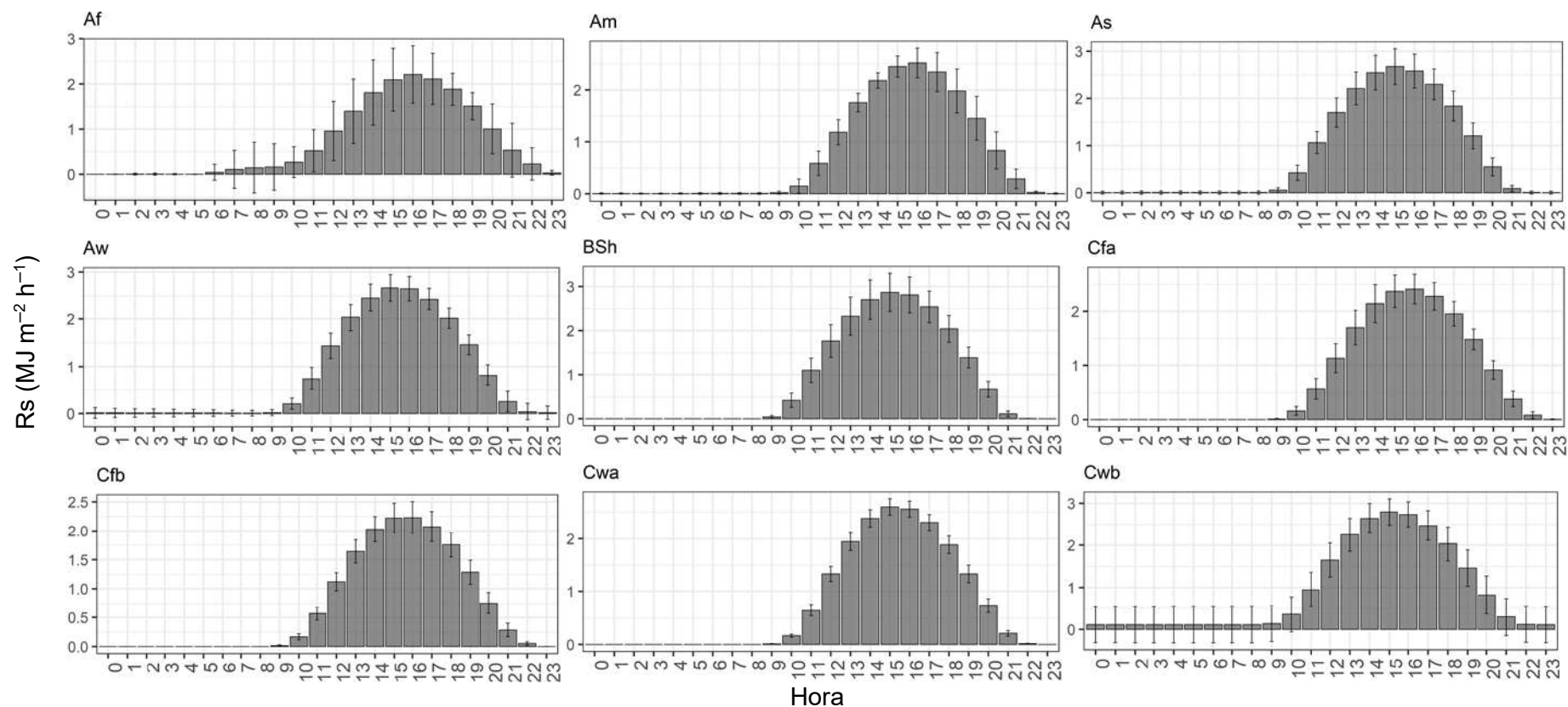
Fonte: O autor (2024)

FIGURA A4.2 – UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$) E BARRA DE DESVIO PADRÃO, AO LONGO DAS HORAS (GMT), OBTIDA ENTRE 01/01/2017 A 31/12/2020, PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NOS CLIMAS BRASILEIROS Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa E Cwb.



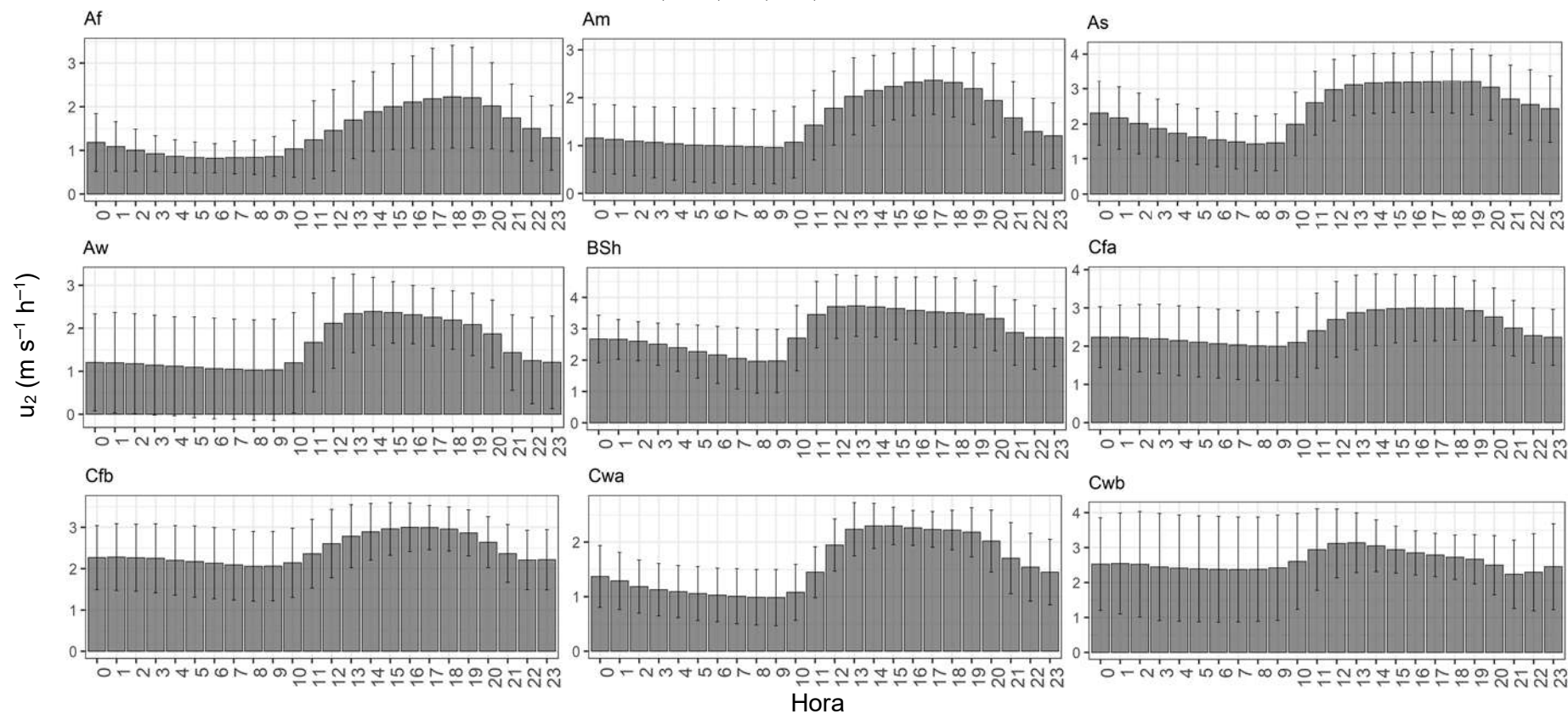
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A4.3 – RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s) E BARRA DE DESVIO PADRÃO, AO LONGO DAS HORAS (GMT), OBTIDA ENTRE 01/01/2017 A 31/12/2020, PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NOS CLIMAS BRASILEIROS Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa E Cwb.



Fonte: O autor (2024).

FIGURA A4.4 – VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO (u_{10}) A 10 METROS DE ALTURA E BARRA DE DESVIO PADRÃO, AO LONGO DAS HORAS (GMT), OBTIDA ENTRE 01/01/2017 A 31/12/2020, PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NOS CLIMAS BRASILEIROS Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa E Cwb.



Fonte: O autor (2024).

FIGURA A4.5 – TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{\text{méd}}$) NAS ESTAÇÕES DO ANO E BARRA DE DESVIO PADRÃO, OBTIDA DE VALORES HORÁRIOS ENTRE 01/01/2017 A 31/12/2020, PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NOS CLIMAS BRASILEIROS *Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* E *Cwb*.
Fonte: O autor (2024).

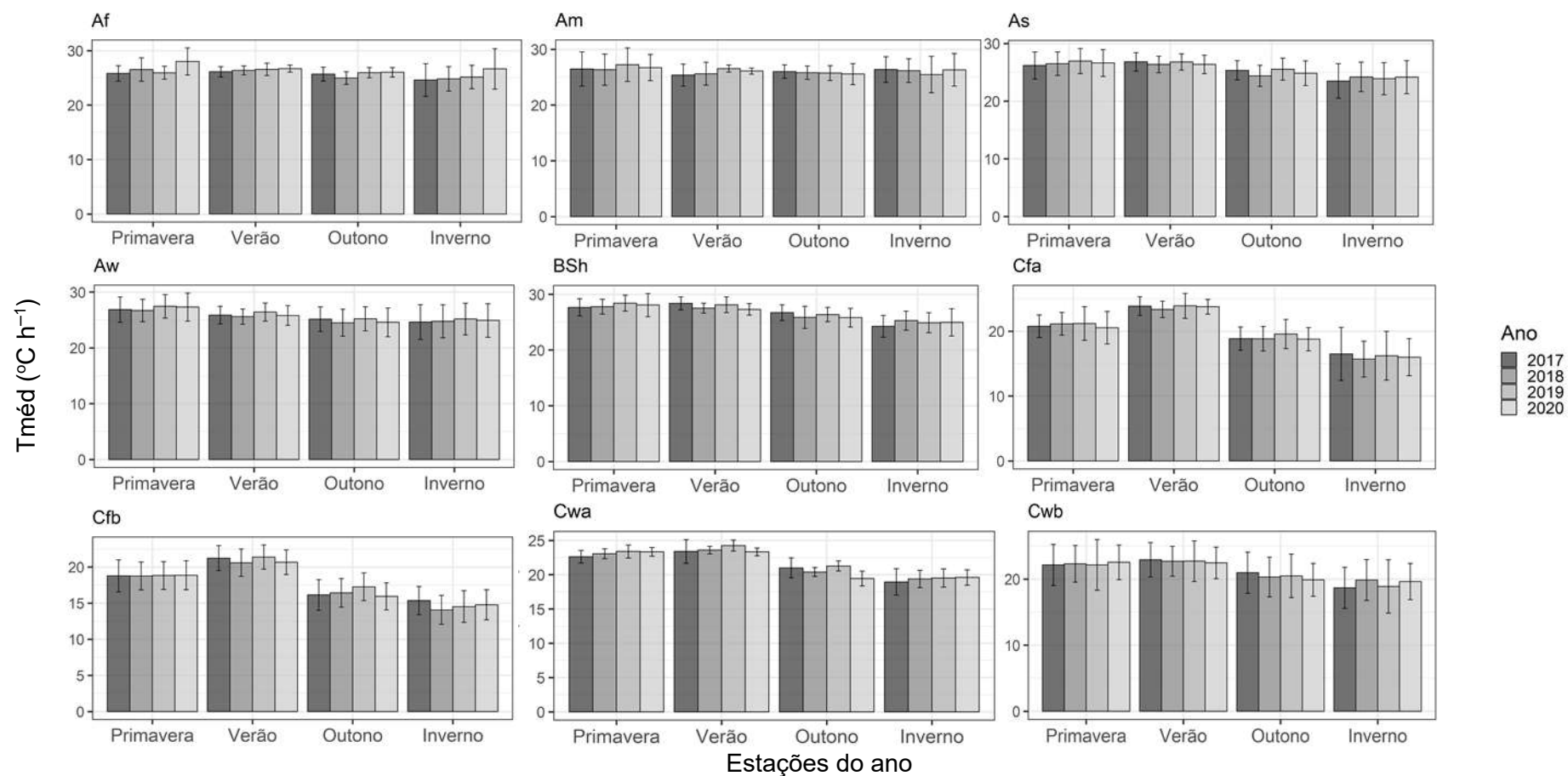
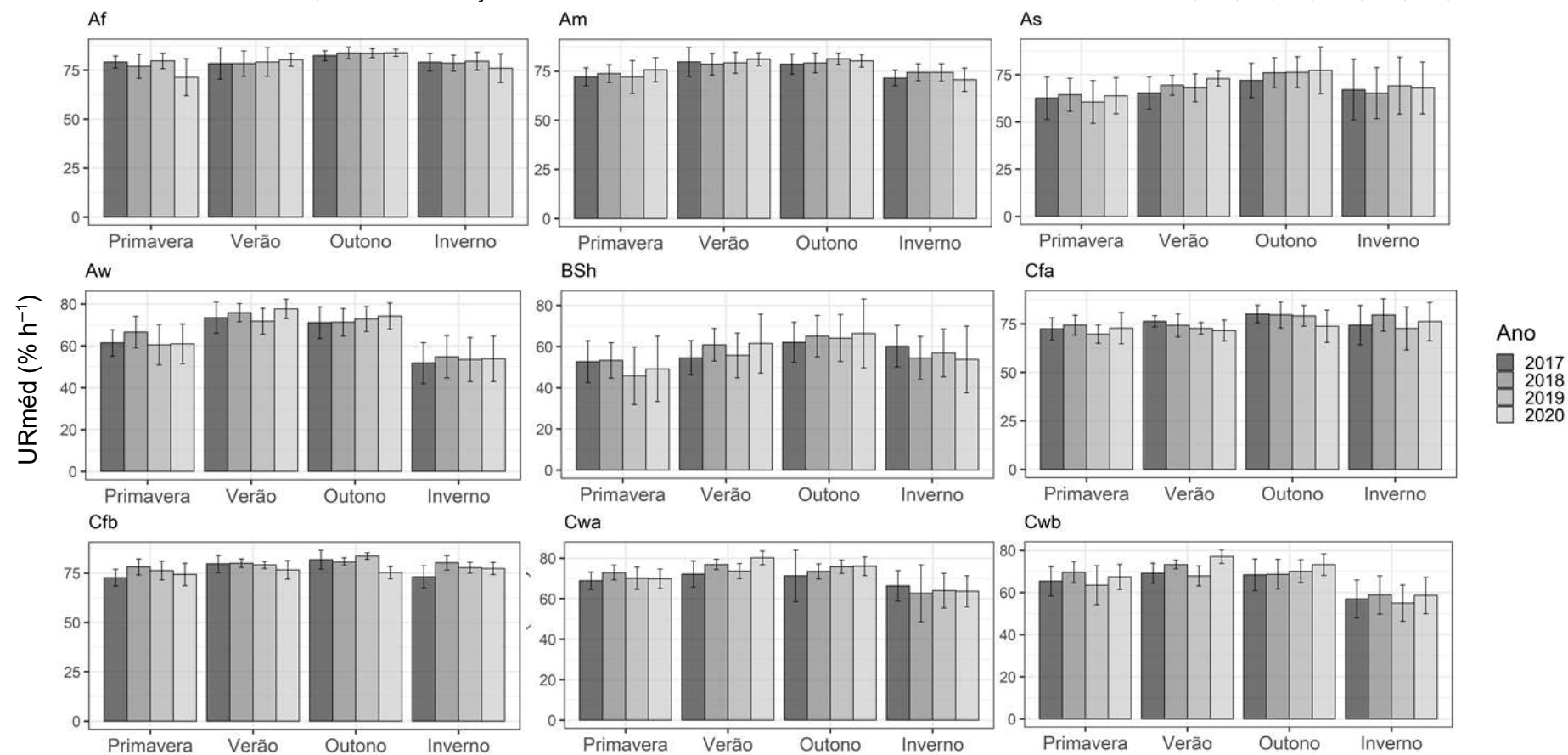


FIGURA A4.6 – UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$) NAS ESTAÇÕES DO ANO E BARRA DE DESVIO PADRÃO, OBTIDA DE VALORES HORÁRIOS ENTRE 01/01/2017 A 31/12/2020, PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NOS CLIMAS BRASILEIROS *Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* E *Cwb*.



Fonte: O autor (2024).

FIGURA A4.7 – RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s) NAS ESTAÇÕES DO ANO E BARRA DE DESVIO PADRÃO, OBTIDA DE VALORES HORÁRIOS ENTRE 01/01/2017 A 31/12/2020, PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NOS CLIMAS BRASILEIROS *Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* E *Cwb*.

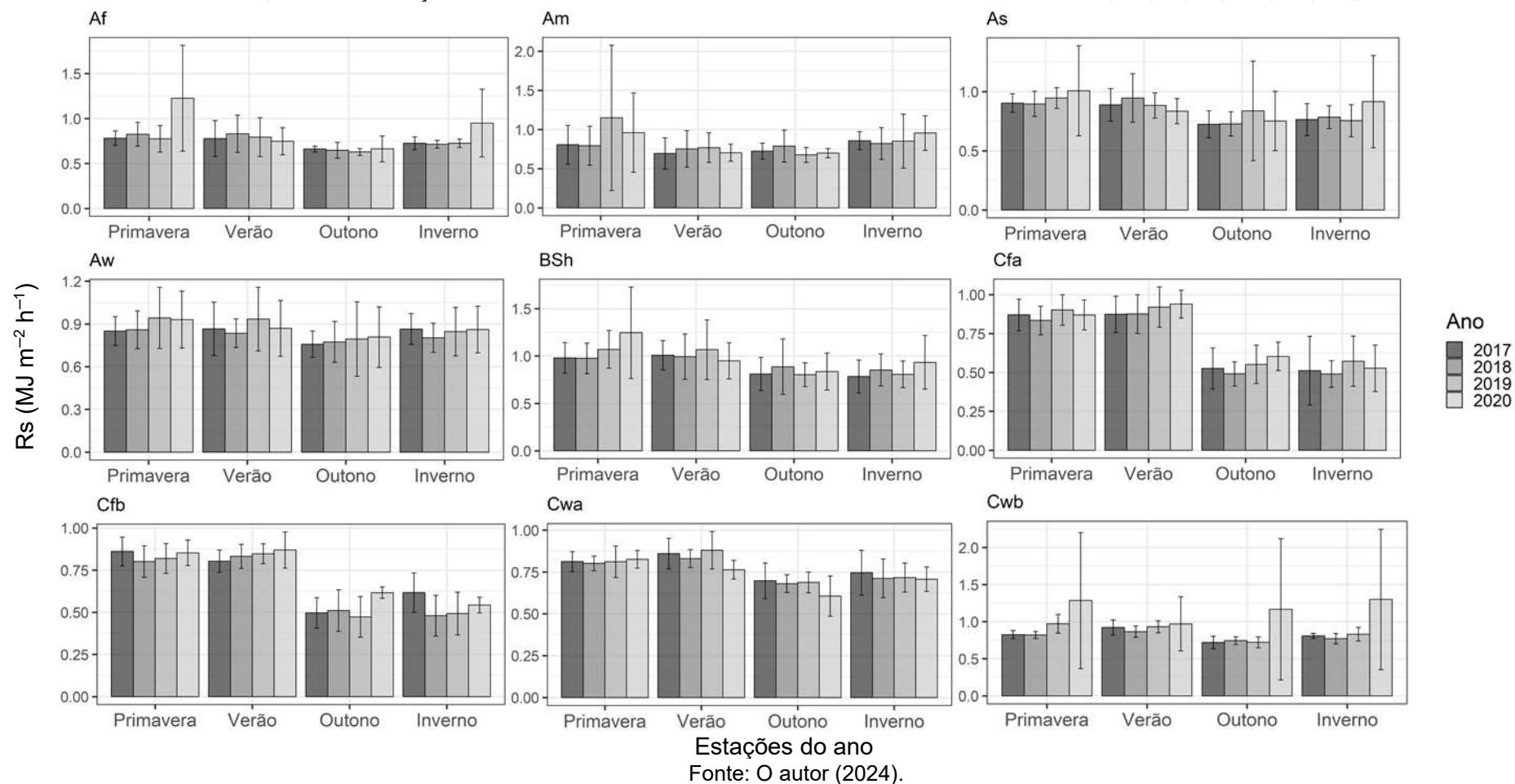
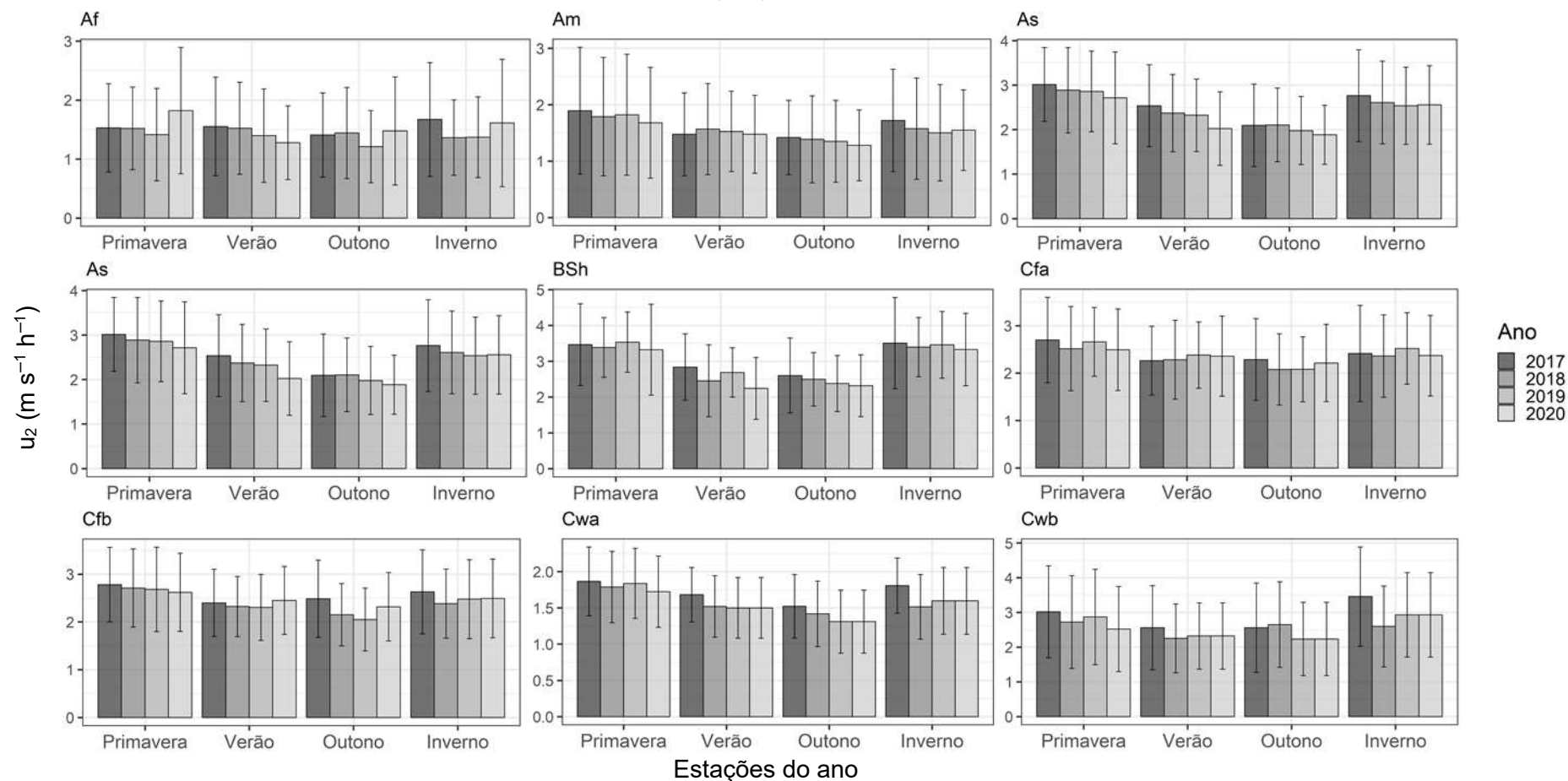


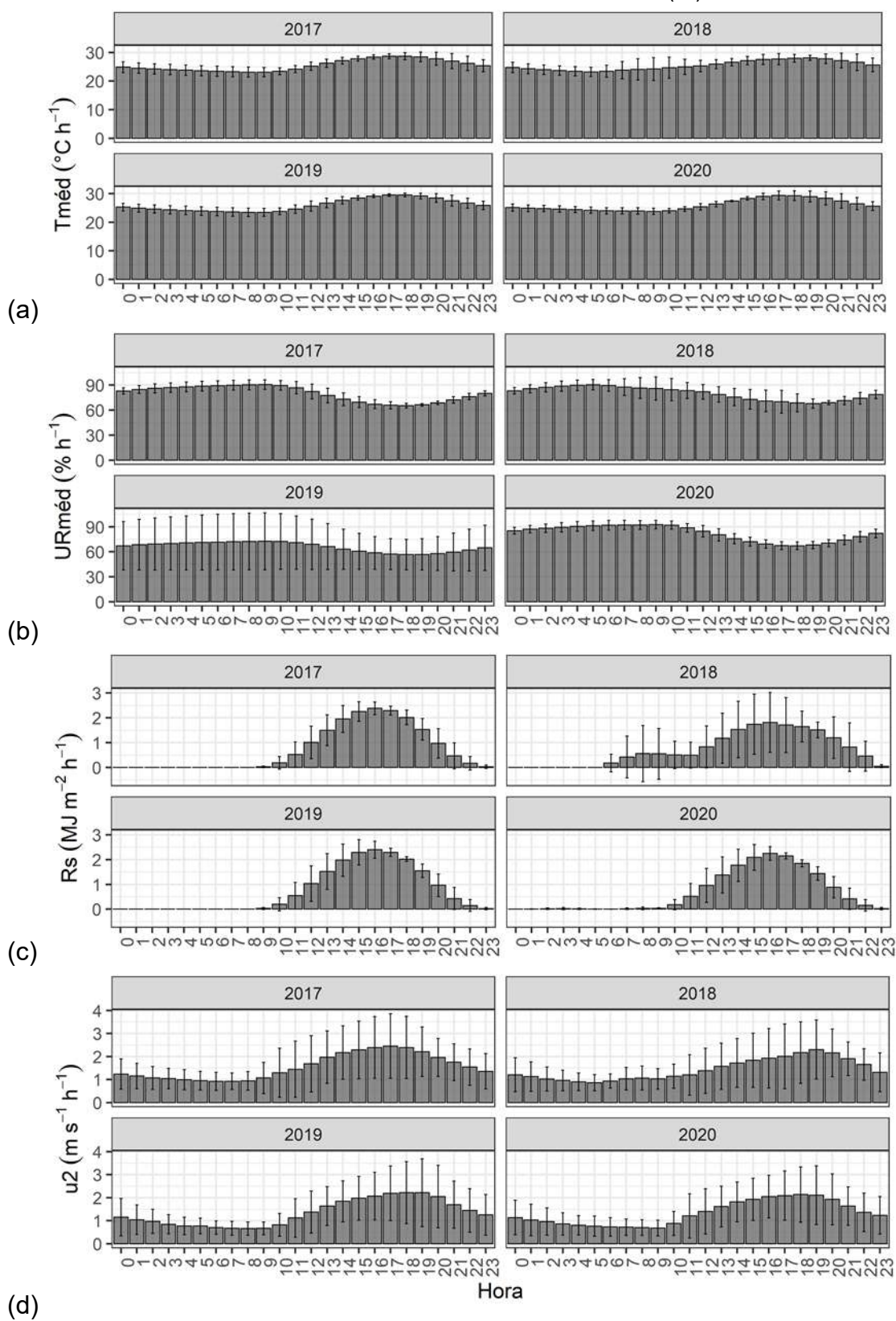
FIGURA A4.8 – VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO (u_2) A 10 METROS DE ALTURA NAS ESTAÇÕES DO ANO E BARRA DE DESVIO PADRÃO, OBTIDA DE VALORES HORÁRIOS ENTRE 01/01/2017 A 31/12/2020, PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NOS CLIMAS BRASILEIROS *Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* E *Cwb*.



Estações do ano
Fonte: O autor (2024).

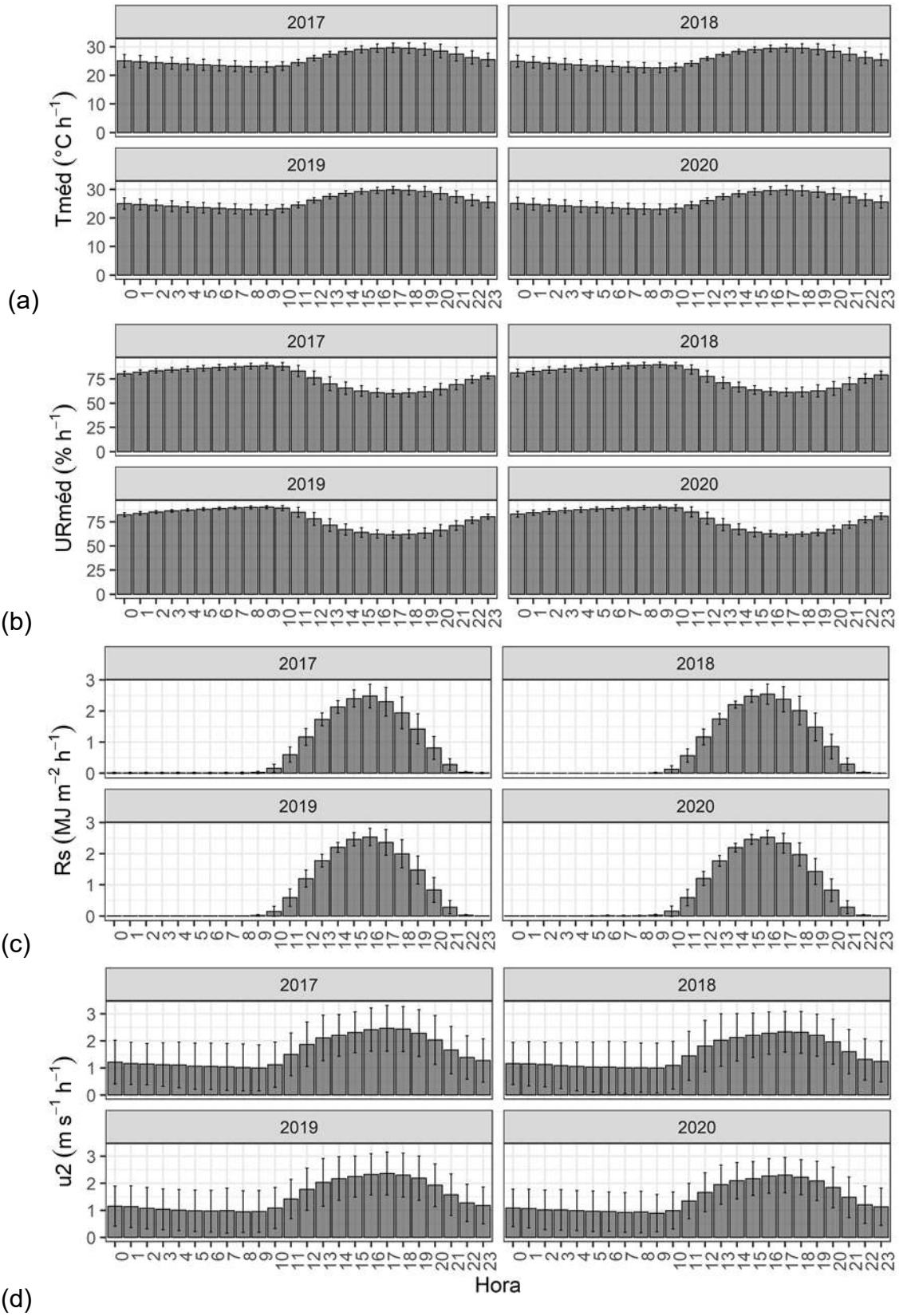
APÊNDICE 5 – MÉDIAS HORÁRIAS DA TEMPERATURA ($T_{méd}$), UMIDADE RELATIVA ($UR_{méd}$), RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s) E VELOCIDADE DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2), OBTIDAS DE VALORES HORÁRIOS ENTRE 01/01/2017 A 31/12/2020, PARA ESTIMAR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o), DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS NOS CLIMAS BRASILEIROS (Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa E Cwb).

FIGURA A5.1 – MÉDIAS HORÁRIAS DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS, POR ANO, OBTIDAS ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, DE CINCO ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS EM CLIMA Af, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



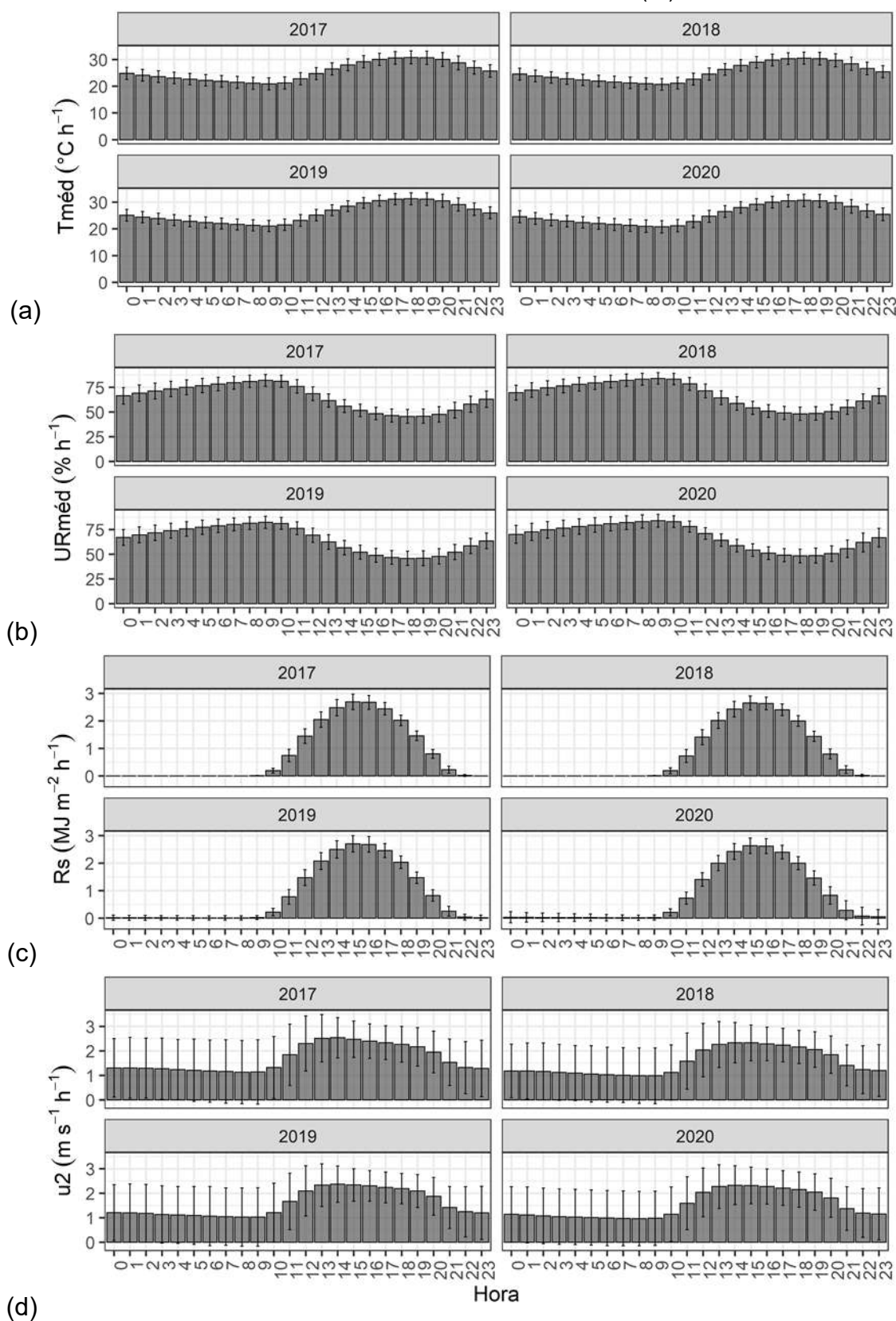
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A5.2 – MÉDIAS HORÁRIAS DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS, POR ANO, OBTIDAS ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, DE CINCO ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS EM CLIMA Am, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



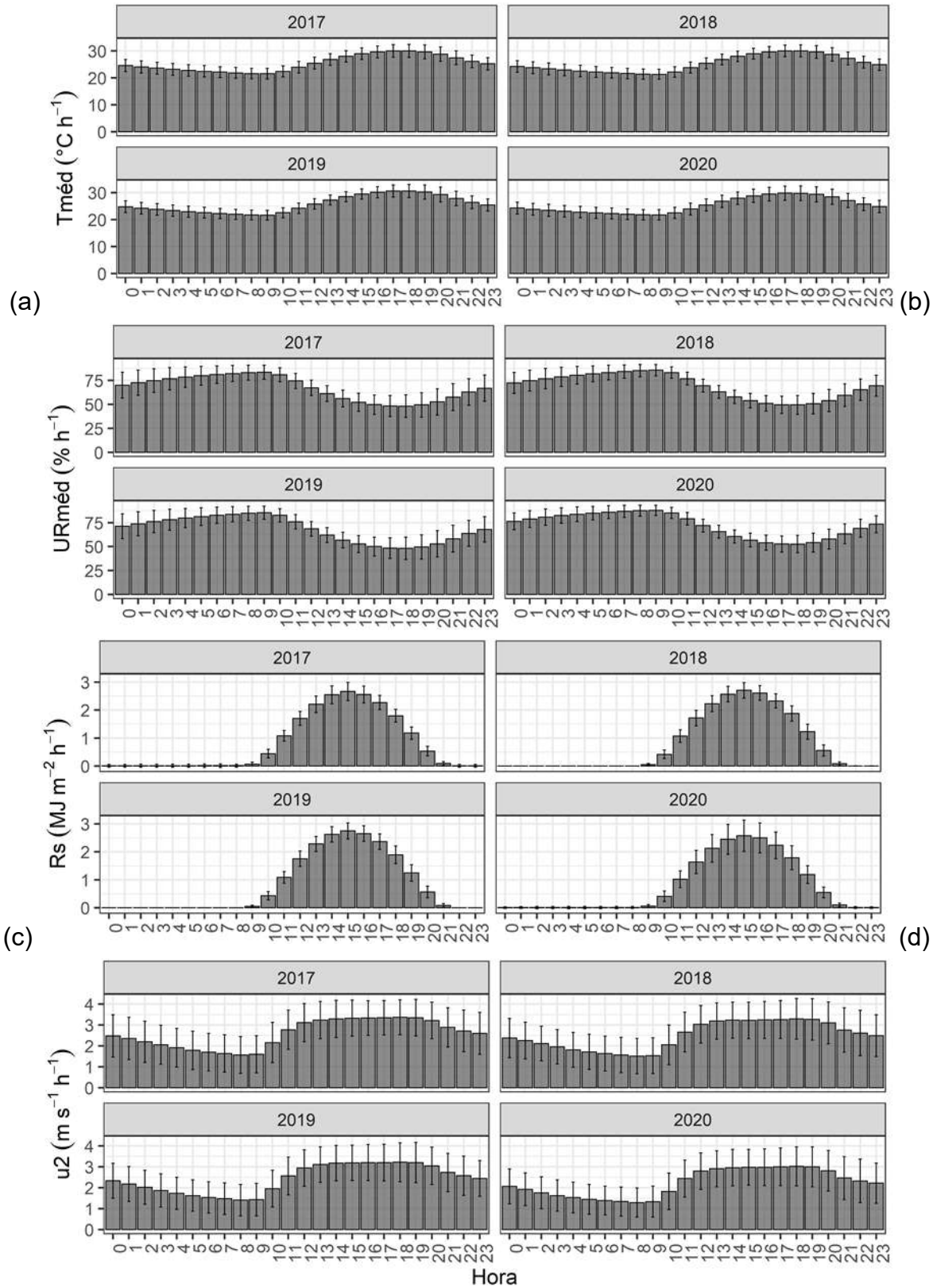
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A5.3 – MÉDIAS HORÁRIAS DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS, POR ANO, OBTIDAS ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, DE CINCO ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS EM CLIMA Aw, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



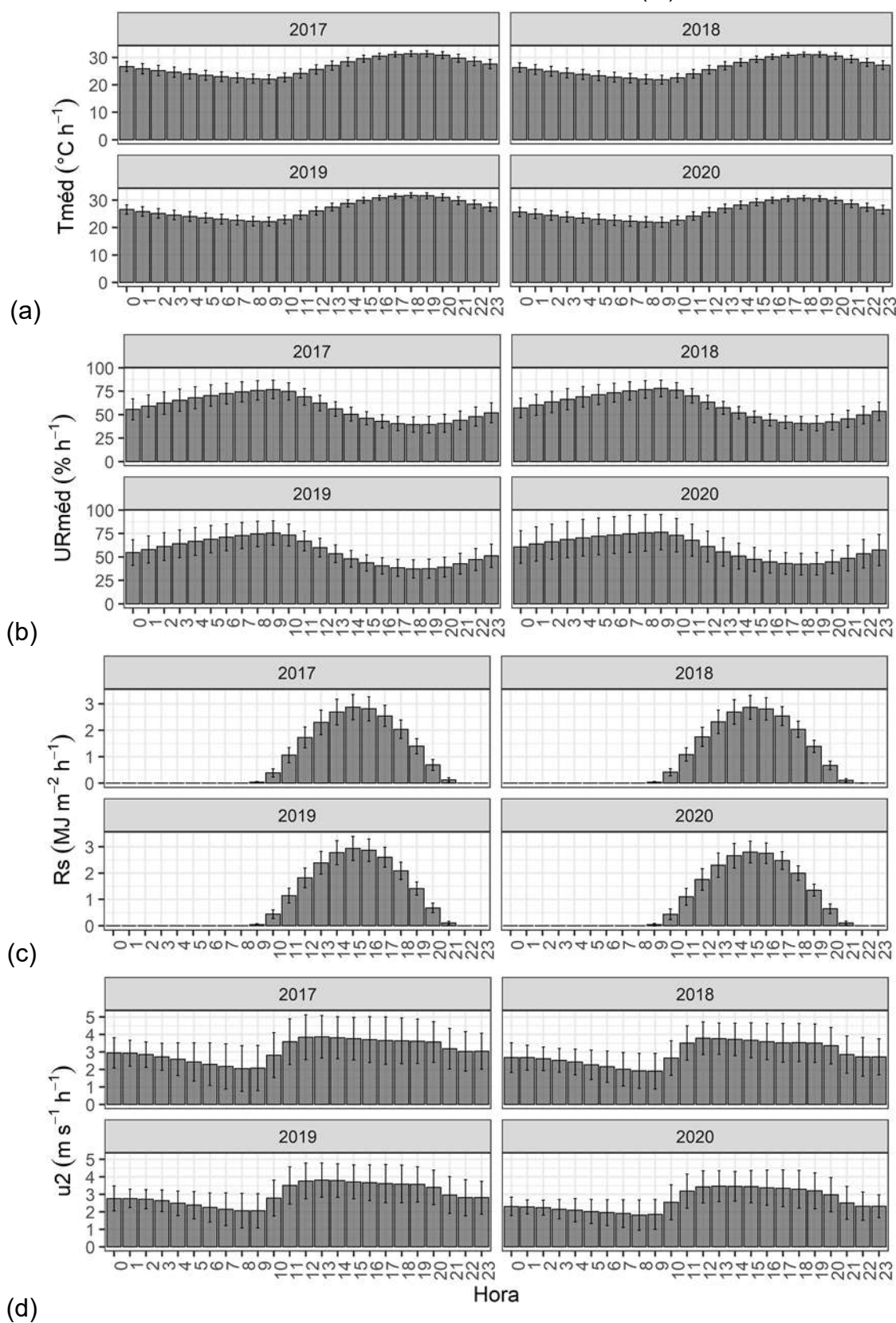
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A5.4 – MÉDIAS HORÁRIAS DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS, POR ANO, OBTIDAS ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, DE CINCO ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS EM CLIMA As, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



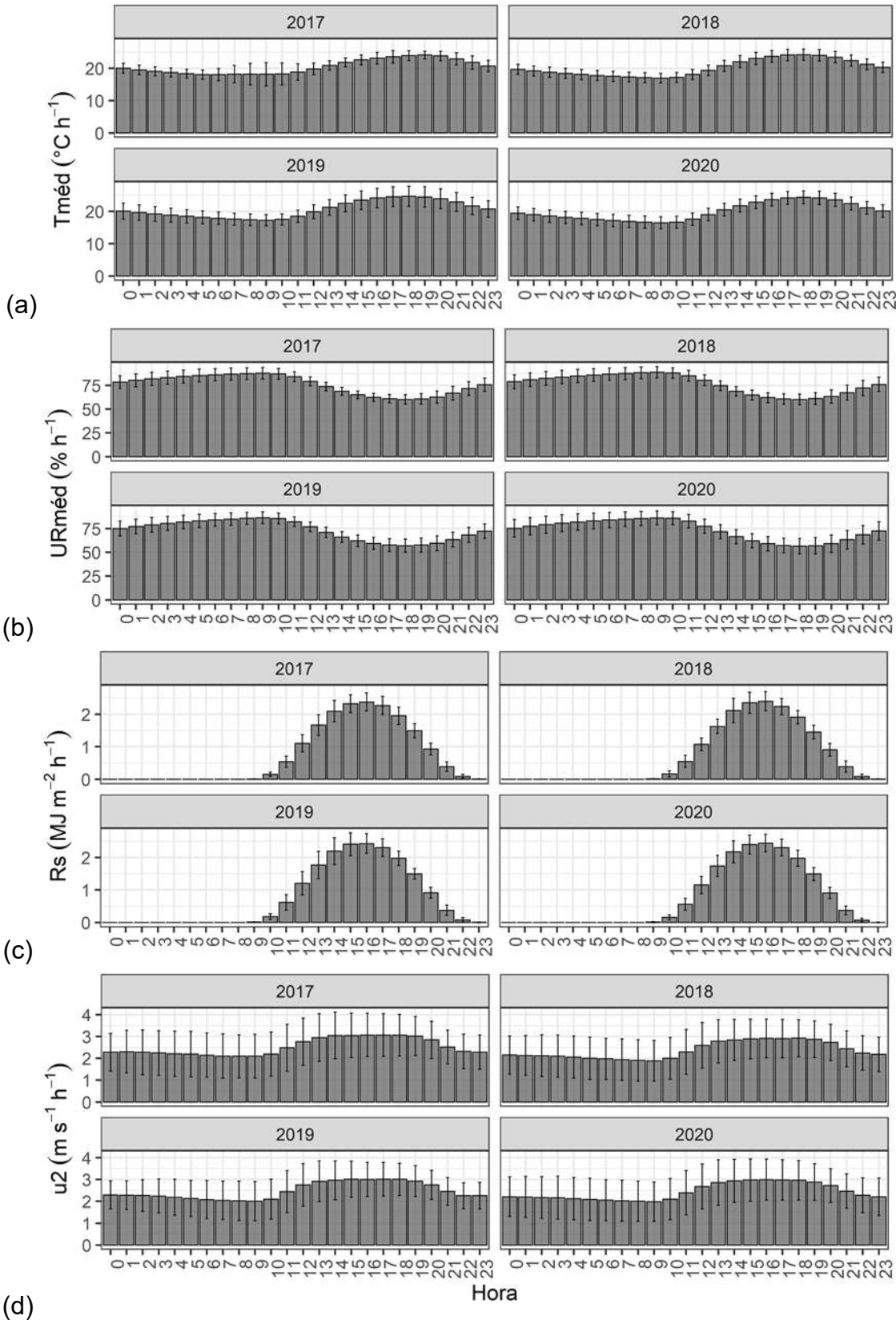
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A5.5 – MÉDIAS HORÁRIAS DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS, POR ANO, OBTIDAS ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, DE CINCO ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS EM CLIMA BSh, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



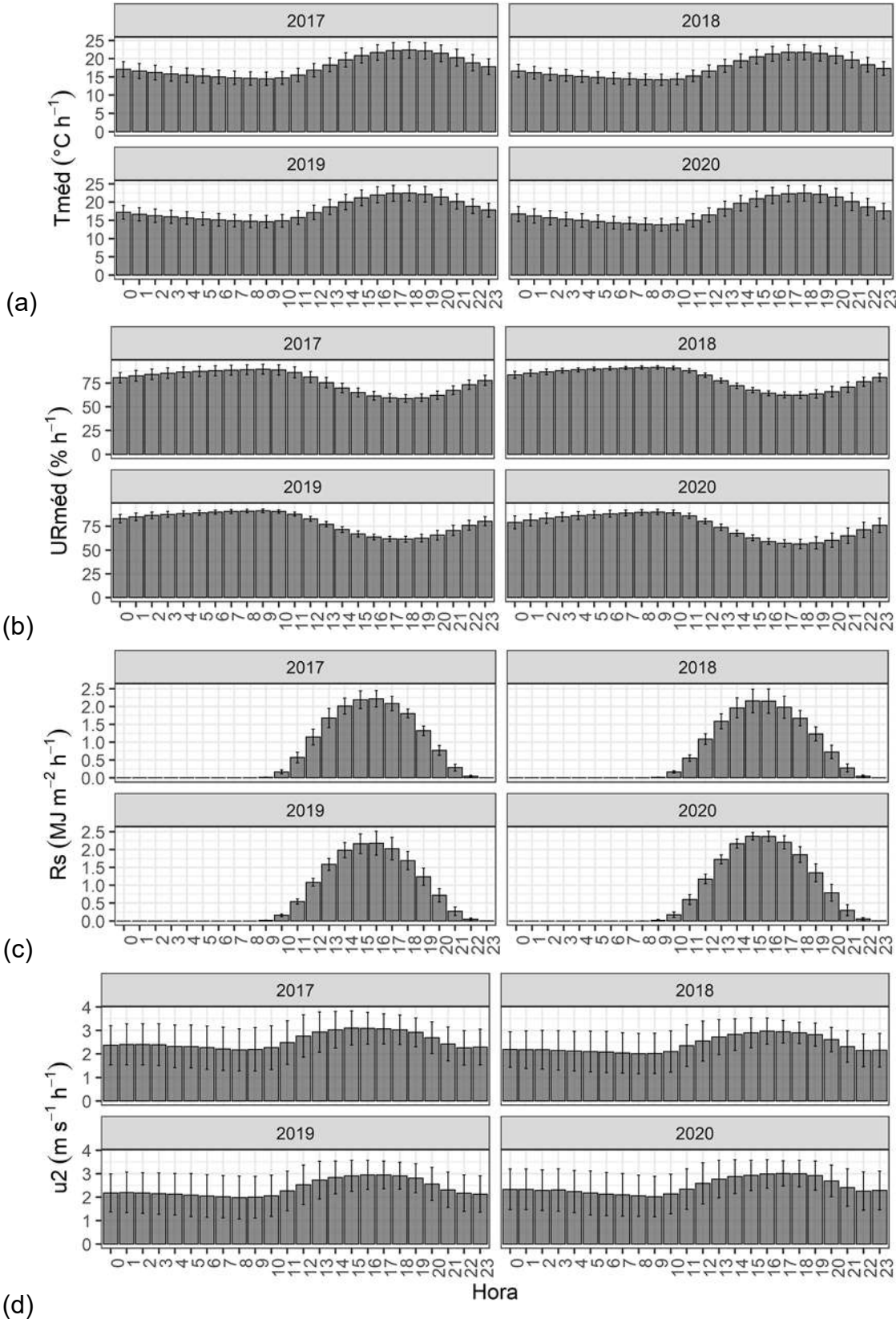
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A5.6 – MÉDIAS HORÁRIAS DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS, POR ANO, OBTIDAS ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, DE CINCO ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS EM CLIMA Cfa, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



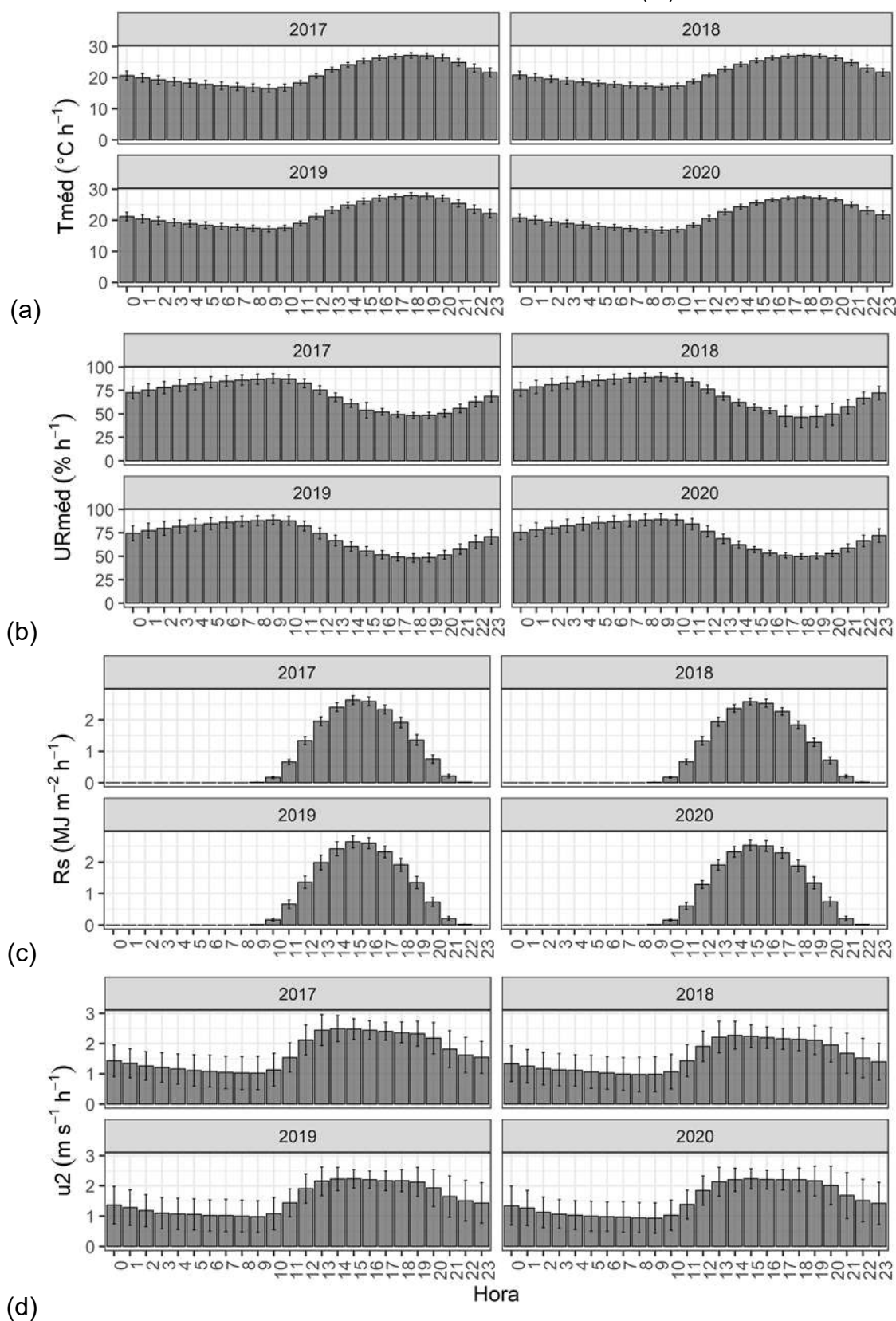
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A5.7 – MÉDIAS HORÁRIAS DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS, POR ANO, OBTIDAS ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, DE CINCO ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS EM CLIMA Cfb, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



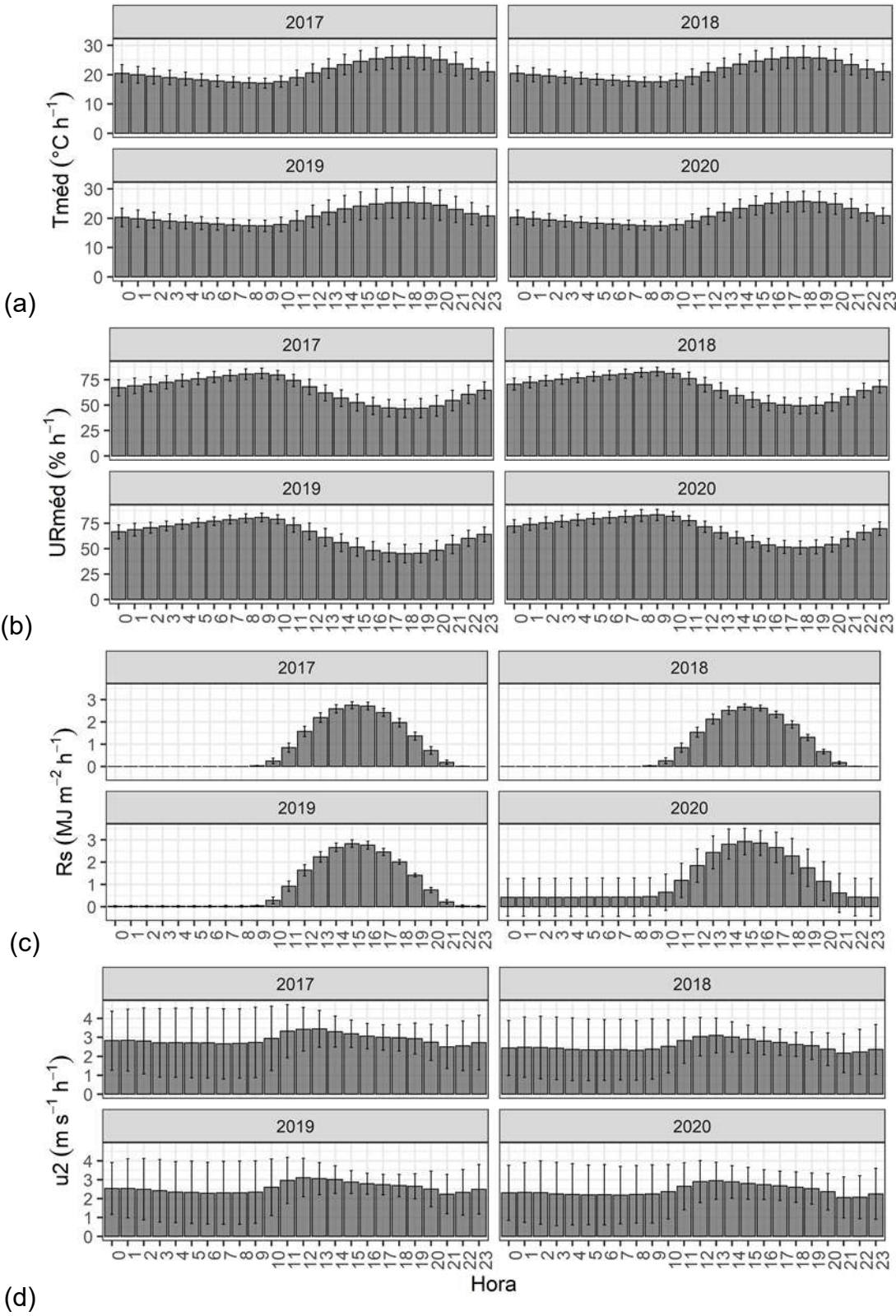
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A5.8 – MÉDIAS HORÁRIAS DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS, POR ANO, OBTIDAS ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, DE CINCO ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS EM CLIMA Cwa, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



Fonte: O autor (2024).

FIGURA A5.9 – MÉDIAS HORÁRIAS DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS, POR ANO, OBTIDAS ENTRE 01/01/2017 E 31/12/2020, DE CINCO ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS SELECIONADAS EM CLIMA Cwb, SENDO: a) TEMPERATURA MÉDIA DO AR ($T_{méd}$); b) UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR ($UR_{méd}$); c) RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE (R_s); E, d) VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO A DOIS METROS DE ALTURA (u_2).



Fonte: O autor (2024).

APÊNDICE 6 – COEFICIENTES DO MODELO MORETTI-JERSZURKI-SILVA (MJS), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO E SELEÇÃO DO MODELO *MJS* (LINEAR OU QUADRÁTICO) DE MELHOR AJUSTE

TABELA A6.1 – COEFICIENTES DOS MODELOS MORETTI-JESRSZURKI-SILVA HORÁRIO (LINEAR E QUADRÁTICO), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO ASSOCIANDO “ Ψ_{ar} vs ET_{OASCE} ” (COM DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2017 A 01/01/2019 E RESPECTIVA MÉDIA CLIMÁTICA) PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCALIZADAS EM CLIMA Af, E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL) DO AJUSTE, DIFERENÇA DOS “ r ” LINEAR E QUADRÁTICO, E SELEÇÃO DO MODELO DE MELHOR AJUSTE.

Localidades	Intervalo	Modelo linear ⁽¹⁾			Modelo quadrático ⁽¹⁾				Diferença ⁽²⁾	Selecionado ⁽³⁾
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>r</i>		
Belém	Período	-4.69E-02	-5.712E-08	0.76	-1.539E-15	-7.169E-08	-6.64E-02	0.76	0.00	Linear
	Primavera	-2.81E-02	-4.184E-08	0.61	-1.912E-15	-6.11E-08	-5.87E-02	0.61	0.01	Linear
	Verão	-3.93E-02	-6.544E-08	0.77	-9.949E-16	-7.26E-08	-4.61E-02	0.77	0.00	Linear
	Outono	-6.07E-02	-7.362E-08	0.86	-1.536E-15	-8.61E-08	-7.44E-02	0.86	0.00	Linear
	Inverno	-6.07E-02	-7.362E-08	0.86	-1.536E-15	-8.61E-08	-7.44E-02	0.86	0.00	Linear
Cruz das Almas	Período	5.65E-03	-5.86E-08	0.84	-2.41E-15	-8.45E-08	-2.43E-02	0.85	0.01	Linear
	Primavera	-9.11E-03	-6.34E-08	0.86	-2.02E-15	-8.38E-08	-3.20E-02	0.87	0.01	Linear
	Verão	-3.00E-02	-5.50E-08	0.87	-1.15E-15	-6.98E-08	-5.45E-02	0.87	0.00	Linear
	Outono	6.26E-03	-6.95E-08	0.82	-3.92E-15	-1.02E-07	-2.40E-02	0.84	0.01	Linear
	Inverno	-1.99E-03	-7.52E-08	0.84	-3.76E-15	-1.01E-07	-2.13E-02	0.85	0.01	Linear
Cruzeiro do Sul	Período	-5.66E-03	-5.97E-08	0.79	-3.73E-15	-9.81E-08	-5.09E-02	0.82	0.03	Linear
	Primavera	-1.89E-02	-6.58E-08	0.82	-3.67E-15	-1.01E-07	-5.75E-02	0.83	0.01	Linear
	Verão	-3.29E-02	-8.26E-08	0.85	-4.52E-15	-1.11E-07	-6.10E-02	0.86	0.01	Linear
	Outono	-2.51E-02	-7.25E-08	0.83	-5.42E-15	-1.13E-07	-6.07E-02	0.84	0.01	Linear
	Inverno	9.10E-04	-4.45E-08	0.77	-1.97E-15	-7.07E-08	-4.08E-02	0.79	0.02	Linear
Itacoatiara	Período	-4.17E-02	-6.42E-08	0.73	-3.82E-15	-1.03E-07	-1.01E-01	0.75	0.02	Linear
	Primavera	-5.10E-02	-5.87E-08	0.73	-2.07E-15	-8.33E-08	-9.61E-02	0.74	0.01	Linear
	Verão	-7.16E-02	-8.76E-08	0.80	-3.17E-15	-1.12E-07	-1.00E-01	0.80	0.00	Linear
	Outono	-6.62E-02	-8.62E-08	0.76	-7.06E-15	-1.39E-07	-1.29E-01	0.78	0.01	Linear
	Inverno	-5.52E-02	-5.95E-08	0.74	-3.03E-15	-9.25E-08	-1.13E-01	0.75	0.01	Linear
Salvador	Período	-1.71E-01	-9.86E-08	0.81	3.50E-15	-6.56E-08	-1.11E-01	0.81	0.00	Linear
	Primavera	-2.18E-01	-1.13E-07	0.87	3.87E-15	-7.74E-08	-1.52E-01	0.87	0.00	Linear
	Verão	-2.38E-01	-1.00E-07	0.87	3.94E-15	-5.68E-08	-1.45E-01	0.87	0.00	Linear
	Outono	-1.42E-01	-9.90E-08	0.72	1.38E-14	4.91E-10	8.18E-04	0.74	0.03	Linear
	Inverno	-1.74E-01	-1.06E-07	0.77	1.20E-14	-1.48E-08	-3.36E-02	0.78	0.02	Linear
Média clima Af	Período	-5.32E-02	-7.03E-08	0.79	-1.62E-15	-8.78E-08	-7.19E-02	0.81	0.02	Linear
	Primavera	-7.42E-02	-7.53E-08	0.82	-9.74E-16	-8.63E-08	-8.45E-02	0.83	0.01	Linear
	Verão	-9.31E-02	-8.13E-08	0.85	-1.23E-15	-8.74E-08	-9.00E-02	0.85	0.00	Linear
	Outono	-5.67E-02	-8.18E-08	0.78	-6.47E-16	-8.83E-08	-5.32E-02	0.80	0.02	Linear
	Inverno	-5.76E-02	-7.13E-08	0.78	8.17E-16	-6.98E-08	-5.22E-02	0.79	0.01	Linear

⁽¹⁾ Coeficientes dos modelos: Linear – “*a*” (mm h⁻¹) e “*b*” (mm h⁻¹ MPa⁻¹); e, Quadrático – “*a*” (mm h⁻¹ MPa⁻²), “*b*” (mm h⁻¹ MPa⁻¹) e “*c*” (mm h⁻¹). ⁽²⁾ Diferença dos “*r*” linear e quadrático em módulo; ⁽³⁾ Optou-se por selecionar o modelo quadrático somente quando o coeficiente de correlação ($r_{\text{quadrático}}$) da associação “ $ET_{O_{MJS}(\Psi_{ar})_{Q,h}$ vs $ET_{O_{ASCE}}$ ” foi superior a 5% do r_{linear} da associação “ $ET_{O_{MJS}(\Psi_{ar})_{L,h}$ vs $ET_{O_{ASCE}}$ ”.

TABELA A6.2 – COEFICIENTES DOS MODELOS MORETTI-JESRSZURKI-SILVA HORÁRIO (LINEAR E QUADRÁTICO), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO ASSOCIANDO “ Ψ_{ar} vs ET_{oASCE} ” (COM DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2017 A 01/01/2019 E RESPECTIVA MÉDIA CLIMÁTICA) PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCALIZADAS EM CLIMA Am , E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL) DO AJUSTE, DIFERENÇA DOS “ r ” LINEAR E QUADRÁTICO, E SELEÇÃO DO MODELO DE MELHOR AJUSTE.

Localidades	Intervalo	Modelo linear ⁽¹⁾			Modelo quadrático ⁽¹⁾			Diferença ⁽²⁾		Selecionado ⁽³⁾
		a	b	r	a	b	c	a	b	
Macapá	Período	-5.75E-02	-7.89E-08	0.79	-3.77E-16	-8.23E-08	-6.22E-02	0.79	0.00	Linear
	Primavera	-1.47E-01	-8.35E-08	0.81	3.37E-15	-4.65E-08	-7.50E-02	0.81	0.00	Linear
	Verão	-5.89E-02	-9.28E-08	0.81	-1.11E-15	-1.01E-07	-6.76E-02	0.81	0.00	Linear
	Outono	-5.84E-02	-9.27E-08	0.80	-9.08E-16	-9.91E-08	-6.52E-02	0.80	0.00	Linear
	Inverno	-8.62E-02	-8.04E-08	0.78	2.46E-16	-7.81E-08	-8.26E-02	0.78	0.00	Linear
Rio de Janeiro	Período	-4.31E-02	-5.05E-08	0.81	-2.00E-15	-7.97E-08	-1.02E-01	0.83	0.02	Linear
	Primavera	-2.74E-02	-4.52E-08	0.85	-2.39E-15	-7.57E-08	-7.45E-02	0.88	0.03	Linear
	Verão	-2.93E-02	-4.23E-08	0.79	-1.65E-15	-6.92E-08	-8.71E-02	0.82	0.03	Linear
	Outono	-5.26E-02	-5.20E-08	0.78	-1.94E-15	-8.31E-08	-1.29E-01	0.80	0.02	Linear
	Inverno	-8.45E-02	-6.66E-08	0.85	-2.30E-15	-9.47E-08	-1.36E-01	0.86	0.01	Linear
Vitória	Período	-7.69E-02	-7.08E-08	0.86	9.61E-16	-6.07E-08	-6.11E-02	0.86	0.00	Linear
	Primavera	-1.21E-01	-8.38E-08	0.88	2.22E-15	-6.12E-08	-8.22E-02	0.88	0.00	Linear
	Verão	-1.17E-01	-7.49E-08	0.87	7.00E-16	-6.63E-08	-9.99E-02	0.87	0.00	Linear
	Outono	-3.93E-02	-6.12E-08	0.84	-9.39E-17	-6.21E-08	-4.04E-02	0.84	0.00	Linear
	Inverno	-6.00E-02	-6.73E-08	0.85	1.12E-15	-5.74E-08	-4.71E-02	0.85	0.00	Linear
Média clima Am	Período	-5.92E-02	-6.67E-08	0.82	-4.73E-16	-7.42E-08	-7.49E-02	0.83	0.01	Linear
	Primavera	-9.82E-02	-7.08E-08	0.85	1.07E-15	-6.12E-08	-7.72E-02	0.86	0.01	Linear
	Verão	-6.85E-02	-7.00E-08	0.82	-6.85E-16	-7.88E-08	-8.49E-02	0.83	0.01	Linear
	Outono	-5.01E-02	-6.86E-08	0.81	-9.80E-16	-8.14E-08	-7.81E-02	0.81	0.01	Linear
	Inverno	-7.69E-02	-7.14E-08	0.83	-3.11E-16	-7.67E-08	-8.87E-02	0.83	0.00	Linear

⁽¹⁾ Coeficientes dos modelos: Linear – “ a ” (mm h⁻¹) e “ b ” (mm h⁻¹ MPa⁻¹); e, Quadrático – “ a ” (mm h⁻¹ MPa⁻²), “ b ” (mm h⁻¹ MPa⁻¹) e “ c ” (mm h⁻¹). ⁽²⁾ Diferença dos “ r ” linear e quadrático em módulo; ⁽³⁾ Optou-se por selecionar o modelo quadrático somente quando o coeficiente de correlação ($r_{quadrático}$) da associação “ $ET_{oMJS}(\Psi_{ar})_{Q,h}$ vs ET_{oASCE} ” foi superior a 5% do r_{linear} da associação “ $ET_{oMJS}(\Psi_{ar})_{L,h}$ vs ET_{oASCE} ”.

TABELA A6.3 – COEFICIENTES DOS MODELOS MORETTI-JESRSZURKI-SILVA HORÁRIO (LINEAR E QUADRÁTICO), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO ASSOCIANDO “ Y_{ar} vs ET_{oASCE} ” (COM DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2017 A 01/01/2019 E RESPECTIVA MÉDIA CLIMÁTICA) PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCALIZADAS EM CLIMA As, E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL) DO AJUSTE, DIFERENÇA DOS “ r ” LINEAR E QUADRÁTICO, E SELEÇÃO DO MODELO DE MELHOR AJUSTE.

Localidades	Intervalo	Modelo linear ⁽¹⁾			Modelo quadrático ⁽¹⁾			Diferença ⁽²⁾		Selecionado ⁽³⁾
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	
Arcoverde	Período	3.20E-02	-3.17E-08	0.68	-1.91E-15	-6.66E-08	-5.02E-02	0.72	0.04	Linear
	Primavera	1.88E-02	-3.11E-08	0.70	-1.90E-15	-6.99E-08	-9.34E-02	0.74	0.04	Linear
	Verão	1.16E-02	-2.99E-08	0.67	-1.923E-15	-6.77E-08	-9.65E-02	0.71	0.04	Linear
	Outono	2.66E-02	-3.74E-08	0.68	-2.17E-15	-7.16E-08	-4.37E-02	0.72	0.04	Linear
	Inverno	2.40E-02	-4.25E-08	0.74	-2.63E-15	-7.93E-08	-3.72E-02	0.77	0.03	Linear
Areia	Período	1.82E-02	-5.87E-08	0.76	-3.03E-15	-9.25E-08	-1.13E-01	0.77	0.01	Linear
	Primavera	1.86E-02	-5.58E-08	0.80	-2.44E-15	-8.00E-08	-9.56E-03	0.80	0.01	Linear
	Verão	-6.59E-03	-5.96E-08	0.83	-3.82E-15	-9.60E-08	-5.15E-02	0.85	0.02	Linear
	Outono	-3.83E-03	-7.42E-08	0.81	-6.53E-15	-1.17E-07	-3.71E-02	0.83	0.02	Linear
	Inverno	3.43E-02	-5.92E-08	0.63	-7.99E-16	-6.48E-08	2.96E-02	0.63	0.00	Linear
Barbalha	Período	4.69E-02	-2.62E-08	0.53	-1.27E-15	-5.47E-08	-5.75E-02	0.57	0.03	Linear
	Primavera	1.93E-02	-2.40E-08	0.53	-8.71E-16	-4.72E-08	-8.99E-02	0.55	0.02	Linear
	Verão	9.41E-02	-2.69E-08	0.48	-1.97E-15	-6.63E-08	-3.53E-02	0.52	0.04	Linear
	Outono	-6.08E-02	-5.88E-08	0.72	-2.96E-15	-9.43E-08	-1.33E-01	0.73	0.01	Linear
	Inverno	-7.09E-02	-3.52E-08	0.63	-7.97E-16	-5.24E-08	-1.42E-01	0.63	0.00	Linear
Bom Jesus	Período	3.76E-02	-2.07E-08	0.52	-5.38E-16	-3.48E-08	-2.16E-02	0.53	0.02	Linear
	Primavera	7.40E-02	-1.70E-08	0.48	-4.60E-16	-3.04E-08	1.74E-02	0.50	0.02	Linear
	Verão	4.83E-02	-2.43E-08	0.54	-7.75E-16	-4.27E-08	-1.59E-02	0.56	0.02	Linear
	Outono	9.51E-03	-2.37E-08	0.54	-8.26E-16	-4.22E-08	-6.04E-02	0.55	0.02	Linear
	Inverno	-3.00E-02	-2.34E-08	0.57	-5.38E-16	-3.39E-08	-1.07E-01	0.58	0.01	Linear
Campina Grande	Período	-1.46E-02	-5.83E-08	0.83	-1.88E-15	-7.98E-08	-4.53E-02	0.84	0.01	Linear
	Primavera	-3.23E-02	-5.84E-08	0.86	-1.24E-15	-7.40E-08	-5.77E-02	0.86	0.00	Linear
	Verão	-2.35E-02	-5.65E-08	0.83	-1.89E-15	-7.95E-08	-6.00E-02	0.84	0.01	Linear
	Outono	-9.61E-03	-6.54E-08	0.80	-3.36E-15	-9.68E-08	-4.65E-02	0.81	0.01	Linear
	Inverno	-1.51E-02	-6.13E-08	0.82	-1.51E-15	-7.56E-08	-3.22E-02	0.82	0.00	Linear
Crateus	Período	3.12E-02	-2.23E-08	0.55	-8.03E-15	-9.25E-08	-1.13E-01	0.57	0.02	Linear
	Primavera	3.54E-02	-2.02E-08	0.49	-7.90E-16	-4.13E-08	-6.53E-02	0.50	0.02	Linear
	Verão	2.30E-02	-2.81E-08	0.60	-1.56E-15	-5.88E-08	-6.63E-02	0.64	0.03	Linear
	Outono	-2.00E-03	-3.53E-08	0.68	-1.65E-15	-6.22E-08	-6.48E-02	0.70	0.02	Linear
	Inverno	-3.35E-02	-2.37E-08	0.55	-4.70E-16	-3.62E-08	-9.64E-02	0.56	0.00	Linear
Feira de Santana	Período	6.59E-04	-4.30E-08	0.80	-1.52E-15	-6.68E-08	-4.73E-02	0.82	0.01	Linear
	Primavera	-1.94E-02	-4.59E-08	0.83	-1.42E-15	-6.82E-08	-6.64E-02	0.84	0.01	Linear
	Verão	-3.70E-02	-4.10E-08	0.82	-1.00E-15	-5.94E-08	-8.89E-02	0.83	0.01	Linear
	Outono	-5.00E-03	-5.10E-08	0.78	-2.34E-15	-7.99E-08	-5.16E-02	0.80	0.02	Linear
	Inverno	-7.18E-03	-5.57E-08	0.81	-2.71E-15	-8.42E-08	-4.72E-02	0.82	0.01	Linear

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: TABELA A6.3 – COEFICIENTES DOS MODELOS MORETTI-JESRSZURKI-SILVA HORÁRIO (LINEAR E QUADRÁTICO), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO ASSOCIANDO “ ψ_{ar} vs ET_{OASCE} ” (COM DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2017 A 01/01/2019 E RESPECTIVA MÉDIA CLIMÁTICA) PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCALIZADAS EM CLIMA As, E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL) DO AJUSTE, DIFERENÇA DOS “ r ” LINEAR E QUADRÁTICO, E SELEÇÃO DO MODELO DE MELHOR AJUSTE.

Localidades	Intervalo	Modelo linear ⁽¹⁾			Modelo quadrático ⁽¹⁾			Diferença ⁽²⁾		Selecionado ⁽³⁾
		a	b	r	a	b	c	a	b	
Fortaleza	Período	-1.33E-01	-6.95E-08	0.88	7.20E-16	-6.08E-08	-1.15E-01	0.88	0.00	Linear
	Primavera	-2.41E-01	-8.38E-08	0.94	-2.81E-16	-8.77E-08	-2.52E-01	0.94	0.00	Linear
	Verão	-1.41E-01	-7.89E-08	0.85	4.58E-15	-3.44E-08	-6.09E-02	0.86	0.01	Linear
	Outono	-9.18E-02	-6.75E-08	0.86	1.25E-15	-5.57E-08	-7.31E-02	0.86	0.00	Linear
	Inverno	-1.47E-01	-6.57E-08	0.92	-3.88E-16	-7.10E-08	-1.60E-01	0.92	0.00	Linear
Itiruçu	Período	4.30E-02	-4.69E-08	0.66	-4.33E-15	-9.72E-08	-2.05E-02	0.72	0.05	Quadrático
	Primavera	3.45E-02	-5.15E-08	0.72	-3.47E-15	-9.39E-08	-2.58E-02	0.75	0.04	Linear
	Verão	1.32E-02	-4.61E-08	0.74	-3.21E-15	-8.47E-08	-4.28E-02	0.76	0.02	Linear
	Outono	6.17E-02	-3.74E-08	0.54	-5.65E-15	-1.02E-07	-1.01E-02	0.67	0.13	Quadrático
	Inverno	5.02E-02	-6.06E-08	0.66	-6.63E-15	-1.26E-07	-1.75E-02	0.73	0.07	Quadrático
Janaúba	Período	1.22E-02	-3.01E-08	0.63	-9.67E-16	-5.16E-08	-6.39E-02	0.66	0.02	Linear
	Primavera	4.57E-02	-2.57E-08	0.63	-8.36E-16	-4.69E-08	-2.97E-02	0.66	0.03	Linear
	Verão	6.33E-03	-3.79E-08	0.67	-1.15E-15	-5.99E-08	-5.51E-02	0.68	0.01	Linear
	Outono	-4.63E-02	-3.83E-08	0.70	-1.32E-15	-6.25E-08	-1.24E-01	0.71	0.01	Linear
	Inverno	-8.34E-03	-2.75E-08	0.62	-8.34E-16	-4.69E-08	-8.87E-02	0.63	0.01	Linear
João Pessoa	Período	-1.60E-01	-9.83E-08	0.78	1.33E-14	8.68E-09	9.91E-04	0.82	0.04	Linear
	Primavera	-3.65E-01	-1.35E-07	0.88	1.17E-14	-1.88E-08	-1.17E-01	0.89	0.01	Linear
	Verão	-3.14E-01	-1.14E-07	0.84	1.41E-14	3.01E-08	-1.40E-03	0.87	0.03	Linear
	Outono	-1.03E-01	-9.26E-08	0.76	1.58E-14	1.40E-08	1.80E-02	0.80	0.04	Linear
	Inverno	-1.24E-01	-9.98E-08	0.77	1.87E-14	2.52E-08	2.48E-02	0.81	0.05	Linear
Montes Claros	Período	1.97E-02	-2.66E-08	0.59	-1.06E-15	-5.02E-08	-6.29E-02	0.62	0.03	Linear
	Primavera	4.28E-02	-2.18E-08	0.56	-7.08E-16	-3.96E-08	-2.17E-02	0.58	0.02	Linear
	Verão	2.03E-02	-3.29E-08	0.61	-1.59E-15	-6.41E-08	-7.33E-02	0.64	0.03	Linear
	Outono	-1.97E-02	-3.50E-08	0.65	-2.28E-15	-7.33E-08	-1.26E-01	0.68	0.03	Linear
	Inverno	-1.83E-02	-2.66E-08	0.62	-9.06E-16	-4.77E-08	-1.03E-01	0.64	0.02	Linear
Morada	Período	5.11E-03	-3.44E-08	0.75	-1.39E-15	-6.05E-08	-6.21E-02	0.77	0.02	Linear
	Primavera	-4.34E-02	-3.77E-08	0.82	-1.70E-15	-7.41E-08	-1.65E-01	0.85	0.02	Linear
	Verão	1.46E-02	-3.46E-08	0.75	-1.47E-15	-6.00E-08	-4.07E-02	0.77	0.02	Linear
	Outono	2.03E-02	-4.36E-08	0.71	-2.95E-15	-8.08E-08	-4.12E-02	0.74	0.04	Linear
	Inverno	-1.84E-02	-3.30E-08	0.76	-1.34E-15	-5.93E-08	-9.31E-02	0.78	0.02	Linear
Natal	Período	-1.72E-01	-1.17E-07	0.74	2.21E-14	3.16E-08	2.67E-02	0.79	0.04	Linear
	Primavera	-3.16E-01	-1.54E-07	0.80	1.95E-14	3.01E-10	-7.49E-02	0.82	0.02	Linear
	Verão	-2.78E-01	-1.38E-07	0.75	3.32E-14	9.65E-08	7.69E-02	0.82	0.06	Quadrático
	Outono	-1.12E-01	-1.09E-07	0.73	2.03E-14	1.54E-08	2.98E-02	0.76	0.03	Linear
	Inverno	-1.15E-01	-1.09E-07	0.78	1.19E-14	-3.06E-08	-2.12E-02	0.80	0.02	Linear

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: TABELA A6.3 – COEFICIENTES DOS MODELOS MORETTI-JESRSZURKI-SILVA HORÁRIO (LINEAR E QUADRÁTICO), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO ASSOCIANDO “ ψ_{ar} vs ETo_{ASCE} ” (COM DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2017 A 01/01/2019 E RESPECTIVA MÉDIA CLIMÁTICA) PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCALIZADAS EM CLIMA As, E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL) DO AJUSTE, DIFERENÇA DOS “ r ” LINEAR E QUADRÁTICO, E SELEÇÃO DO MODELO DE MELHOR AJUSTE.

Localidades	Intervalo	Modelo linear ⁽¹⁾			Modelo quadrático ⁽¹⁾			Diferença ⁽²⁾		Selecionado ⁽³⁾
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	
Palmeira dos Índios	Período	2.71E-03	-5.29E-08	0.81	-1.88E-15	-7.63E-08	-3.02E-02	0.82	0.01	Linear
	Primavera	-1.52E-02	-5.48E-08	0.84	-2.26E-15	-8.56E-08	-6.94E-02	0.85	0.01	Linear
	Verão	4.51E-02	-5.29E-08	0.85	-1.36E-15	-7.18E-08	-8.22E-02	0.85	0.00	Linear
	Outono	1.03E-02	-5.64E-08	0.78	-2.47E-15	-8.38E-08	-2.27E-02	0.79	0.02	Linear
	Inverno	8.69E-03	-7.01E-08	0.82	-3.98E-15	-1.00E-07	-1.31E-02	0.83	0.01	Linear
Salinas	Período	1.63E-02	-2.75E-08	0.63	-1.14E-15	-5.21E-08	-5.72E-02	0.66	0.03	Linear
	Primavera	3.89E-02	-2.37E-08	0.60	-9.03E-16	-4.65E-08	-3.74E-02	0.64	0.04	Linear
	Verão	-1.51E-02	-3.73E-08	0.68	-2.18E-15	-7.76E-08	-8.17E-02	0.73	0.04	Linear
	Outono	-1.27E-02	-3.12E-08	0.68	-1.48E-15	-5.66E-08	-7.52E-02	0.70	0.02	Linear
	Inverno	-3.82E-03	-2.48E-08	0.64	-8.94E-16	-4.45E-08	-7.00E-02	0.66	0.02	Linear
São Gonçalo	Período	2.78E-02	-2.36E-08	0.57	-9.91E-16	-4.89E-08	-7.71E-02	0.60	0.03	Linear
	Primavera	5.59E-03	-2.21E-08	0.53	-9.55E-16	-5.18E-08	-1.69E-01	0.55	0.02	Linear
	Verão	2.80E-02	-2.48E-08	0.56	-1.35E-15	-5.57E-08	-8.28E-02	0.60	0.04	Linear
	Outono	-3.10E-02	-4.30E-08	0.70	-2.20E-15	-7.66E-08	-1.10E-01	0.72	0.02	Linear
	Inverno	-1.71E-02	-2.58E-08	0.60	-9.53E-16	-5.17E-08	-1.46E-01	0.62	0.02	Linear
Senhor do Bonfim	Período	3.07E-02	-2.60E-08	0.63	-1.22E-15	-4.47E-08	-1.94E-02	0.66	0.02	Linear
	Primavera	2.66E-02	-2.56E-08	0.63	-1.23E-15	-4.92E-08	-4.00E-02	0.66	0.02	Linear
	Verão	3.20E-02	-2.31E-08	0.58	-1.35E-15	-4.96E-08	-5.01E-02	0.61	0.03	Linear
	Outono	2.33E-02	-3.02E-08	0.64	-1.36E-15	-4.89E-08	-1.15E-02	0.66	0.02	Linear
	Inverno	2.26E-02	-2.99E-08	0.68	-1.19E-15	-4.68E-08	-9.23E-03	0.69	0.01	Linear
Serrinha	Período	2.09E-02	-3.76E-08	0.75	-2.03E-15	-6.97E-08	-3.93E-02	0.77	0.03	Linear
	Primavera	9.15E-03	-3.98E-08	0.77	-2.11E-15	-7.39E-08	-6.12E-02	0.79	0.03	Linear
	Verão	1.55E-03	-3.42E-08	0.74	-1.84E-15	-6.81E-08	-8.45E-02	0.77	0.02	Linear
	Outono	1.75E-02	-4.42E-08	0.76	-2.29E-15	-7.43E-08	-2.88E-02	0.76	0.00	Linear
	Inverno	1.01E-02	-4.80E-08	0.77	-2.65E-15	-7.77E-08	-2.80E-02	0.79	0.02	Linear
Surubim	Período	-2.10E-02	-5.12E-08	0.83	-1.75E-15	-7.65E-08	-6.92E-02	0.84	0.01	Linear
	Primavera	-5.55E-02	-5.31E-08	0.90	-8.29E-16	-6.62E-08	-8.37E-02	0.90	0.00	Linear
	Verão	-3.08E-02	-4.76E-08	0.80	-2.12E-15	-8.20E-08	-1.18E-01	0.82	0.02	Linear
	Outono	-1.97E-02	-6.00E-08	0.77	-3.73E-15	-1.03E-07	-8.65E-02	0.80	0.02	Linear
	Inverno	-2.15E-02	-5.66E-08	0.84	-1.83E-15	-7.84E-08	-5.39E-02	0.84	0.01	Linear
Média clima As	Período	-3.04E-03	-4.45E-08	0.70	1.30E-16	-5.60E-08	-4.85E-02	0.72	0.02	Linear
	Primavera	-2.76E-02	-4.81E-08	0.72	4.99E-16	-5.48E-08	-6.48E-02	0.73	0.02	Linear
	Verão	-2.10E-02	-4.78E-08	0.71	1.04E-15	-5.28E-08	-5.30E-02	0.74	0.03	Linear
	Outono	-1.57E-02	-5.17E-08	0.72	-4.07E-16	-6.80E-08	-5.46E-02	0.74	0.02	Linear
	Inverno	-1.99E-02	-4.83E-08	0.71	1.41E-16	-5.73E-08	-5.64E-02	0.73	0.02	Linear

⁽¹⁾ Coeficientes dos modelos: Linear – “*a*” (mm h⁻¹) e “*b*” (mm h⁻¹ MPa⁻¹); e, Quadrático – “*a*” (mm h⁻¹ MPa⁻²), “*b*” (mm h⁻¹ MPa⁻¹) e “*c*” (mm h⁻¹). ⁽²⁾ Diferença dos “*r*” linear e quadrático em módulo; ⁽³⁾ Optou-se por selecionar o modelo quadrático somente quando o coeficiente de correlação ($r_{quadrático}$) da associação “ $ETo_{MJS(\psi_{ar})Q,h}$ vs ETo_{ASCE} ” foi superior a 5% do r_{linear} da associação “ $ETo_{MJS(\psi_{ar})L,h}$ vs ETo_{ASCE} ”.

TABELA A6.4 – COEFICIENTES DOS MODELOS MORETTI-JESRSZURKI-SILVA HORÁRIO (LINEAR E QUADRÁTICO), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO ASSOCIANDO “ Y_{ar} vs ET_{oASCE} ” (COM DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2017 A 01/01/2019 E RESPECTIVA MÉDIA CLIMÁTICA) PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCALIZADAS EM CLIMA A_w , E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL) DO AJUSTE, DIFERENÇA DOS “ r ” LINEAR E QUADRÁTICO, E SELEÇÃO DO MODELO DE MELHOR AJUSTE.

Localidades	Intervalo	Modelo linear ⁽¹⁾			Modelo quadrático ⁽¹⁾			Diferença ⁽²⁾		Selecionado ⁽³⁾
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	
Bacabal	Período	2.79E-02	-3.45E-08	0.66	-2.40E-15	-7.73E-08	-7.10E-02	0.72	0.06	Quadrático
	Primavera	2.80E-03	-3.04E-08	0.68	-1.77E-15	-6.70E-08	-1.04E-01	0.71	0.04	Linear
	Verão	-3.35E-02	-6.34E-08	0.77	-5.27E-15	-1.15E-07	-1.05E-01	0.79	0.02	Linear
	Outono	-1.74E-02	-6.42E-08	0.78	-7.23E-15	-1.33E-07	-1.10E-01	0.81	0.03	Linear
	Inverno	-1.47E-03	-3.45E-08	0.69	-1.88E-15	-6.96E-08	-9.22E-02	0.72	0.03	Linear
Barra	Período	7.53E-03	-2.93E-08	0.57	-9.62E-16	-4.88E-08	-5.71E-02	0.59	0.01	Linear
	Primavera	2.40E-02	-2.52E-08	0.54	-5.25E-16	-3.66E-08	-1.44E-02	0.54	0.01	Linear
	Verão	2.76E-02	-3.48E-08	0.60	-1.49E-15	-6.14E-08	-4.36E-02	0.61	0.02	Linear
	Outono	-2.43E-02	-3.47E-08	0.63	-1.28E-15	-5.72E-08	-9.04E-02	0.64	0.01	Linear
	Inverno	-5.02E-02	-3.16E-08	0.62	-1.02E-15	-5.39E-08	-1.39E-01	0.63	0.01	Linear
Barreiras	Período	5.04E-02	-2.41E-08	0.56	-1.09E-15	-9.25E-08	-1.13E-01	0.59	0.03	Linear
	Primavera	5.65E-02	-2.04E-08	0.17	-6.97E-16	-3.68E-08	4.62E-03	0.55	0.38	Quadrático
	Verão	1.65E-02	-4.94E-08	0.67	-3.31E-15	-9.00E-08	-4.59E-02	0.70	0.03	Linear
	Outono	1.58E-02	-3.63E-08	0.65	-2.41E-15	-7.15E-08	-5.25E-02	0.68	0.03	Linear
	Inverno	-2.83E-02	-2.69E-08	0.61	-6.22E-16	-4.14E-08	-8.70E-02	0.62	0.01	Linear
Belo Horizonte	Período	1.30E-02	-4.88E-08	0.71	-2.32E-15	-9.25E-08	-1.13E-01	0.73	0.02	Linear
	Primavera	6.95E-02	-4.10E-08	0.62	-2.39E-15	-7.83E-08	-2.35E-02	0.66	0.04	Linear
	Verão	-9.41E-03	-5.85E-08	0.74	-1.42E-15	-7.48E-08	-3.81E-02	0.74	0.00	Linear
	Outono	-7.52E-03	-5.45E-08	0.74	-2.79E-15	-8.16E-08	-4.61E-02	0.75	0.01	Linear
	Inverno	7.72E-03	-4.45E-08	0.74	-2.09E-15	-7.22E-08	-4.55E-02	0.76	0.02	Linear
Bom Jesus	Período	4.69E-02	-1.63E-08	0.48	-5.37E-16	-3.08E-08	-8.57E-03	0.50	0.02	Linear
	Primavera	4.57E-02	-1.45E-08	0.46	-2.55E-16	-2.23E-08	8.82E-03	0.47	0.01	Linear
	Verão	2.73E-02	-3.34E-08	0.62	-2.24E-15	-7.38E-08	-6.15E-02	0.69	0.07	Quadrático
	Outono	5.62E-03	-2.50E-08	0.58	-1.31E-15	-5.12E-08	-6.87E-02	0.61	0.03	Linear
	Inverno	-4.67E-02	-1.85E-08	0.49	-4.71E-16	-3.40E-08	-1.46E-01	0.50	0.01	Linear
Brasília	Período	3.59E-02	-2.95E-08	0.60	-1.13E-15	-5.56E-08	-1.81E-02	0.62	0.02	Linear
	Primavera	5.00E-02	-2.55E-08	0.60	-6.59E-16	-3.93E-08	1.55E-02	0.62	0.01	Linear
	Verão	-5.39E-03	-5.22E-08	0.71	-3.10E-15	-9.14E-08	-7.39E-02	0.74	0.03	Linear
	Outono	-2.40E-02	-4.86E-08	0.67	-2.80E-15	-8.04E-08	-8.17E-02	0.69	0.01	Linear
	Inverno	-6.51E-03	-2.80E-08	0.61	-4.88E-16	-3.84E-08	-4.48E-02	0.62	0.00	Linear
Cáceres	Período	5.88E-02	-3.17E-08	0.62	-1.54E-15	-6.22E-08	-1.13E-01	0.68	0.06	Quadrático
	Primavera	4.62E-02	-3.60E-08	0.61	-1.83E-15	-6.94E-08	-3.66E-02	0.65	0.04	Linear
	Verão	-1.67E-03	-7.61E-08	0.77	-5.18E-15	-1.22E-07	-4.83E-02	0.81	0.04	Linear
	Outono	-6.62E-02	-8.62E-08	0.76	-7.06E-15	-1.39E-07	-1.29E-01	0.78	0.01	Linear
	Inverno	5.78E-03	-2.67E-08	0.72	-7.08E-16	-4.39E-08	-4.74E-02	0.74	0.02	Linear

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: TABELA A6.4 – COEFICIENTES DOS MODELOS MORETTI-JESRSZURKI-SILVA HORÁRIO (LINEAR E QUADRÁTICO), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO ASSOCIANDO “ Ψ_{af} vs ET_{0ASCE} ” (COM DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2017 A 01/01/2019 E RESPECTIVA MÉDIA CLIMÁTICA) PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCALIZADAS EM CLIMA Aw, E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (“r”; ADIMENSIONAL) DO AJUSTE, DIFERENÇA DOS “r” LINEAR E QUADRÁTICO, E SELEÇÃO DO MODELO DE MELHOR AJUSTE.

Localidades	Intervalo	Modelo linear ⁽¹⁾			Modelo quadrático ⁽¹⁾			Diferença ⁽²⁾		Selecionado ⁽³⁾
		a	b	r	a	b	c	a	b	
Caracol	Período	3.59E-02	-2.87E-08	0.58	-1.19E-15	-4.61E-08	-4.66E-04	0.59	0.01	Linear
	Primavera	3.15E-02	-2.64E-08	0.55	-7.29E-16	-3.84E-08	1.84E-03	0.55	0.01	Linear
	Verão	5.10E-02	-3.37E-08	0.63	-2.73E-15	-6.81E-08	-1.13E-03	0.66	0.04	Linear
	Outono	3.28E-02	-3.64E-08	0.63	-2.57E-15	-6.53E-08	-9.40E-03	0.65	0.02	Linear
	Inverno	-1.49E-02	-3.15E-08	0.61	-9.66E-16	-4.72E-08	-5.93E-02	0.62	0.01	Linear
Carolina	Período	3.17E-02	-2.39E-08	0.58	-9.34E-15	-9.25E-08	-3.36E-02	0.60	0.03	Linear
	Primavera	4.26E-02	-2.25E-08	0.52	-1.09E-15	-4.74E-08	-3.36E-02	0.56	0.05	Linear
	Verão	-5.23E-02	-6.84E-08	0.76	-3.34E-15	-1.01E-07	-9.81E-02	0.77	0.01	Linear
	Outono	-2.35E-02	-4.06E-08	0.71	-1.84E-15	-6.94E-08	-8.77E-02	0.72	0.01	Linear
	Inverno	-6.91E-02	-2.59E-08	0.64	-5.12E-16	-4.03E-08	-1.39E-01	0.65	0.01	Linear
Colinas	Período	3.09E-02	-2.43E-08	0.61	-1.19E-15	-5.24E-08	-5.80E-02	0.65	0.05	Linear
	Primavera	1.90E-02	-2.04E-08	0.57	-7.79E-16	-4.11E-08	-6.28E-02	0.59	0.03	Linear
	Verão	-4.27E-02	-5.34E-08	0.73	-3.71E-15	-9.82E-08	-1.25E-01	0.76	0.03	Linear
	Outono	-3.18E-02	-4.95E-08	0.80	-2.58E-15	-8.38E-08	-9.28E-02	0.81	0.02	Linear
	Inverno	-4.00E-02	-2.61E-08	0.65	-8.93E-16	-5.05E-08	-1.52E-01	0.67	0.02	Linear
Correntina	Período	4.70E-02	-3.35E-08	0.62	-1.86E-15	-6.42E-08	-1.28E-02	0.66	0.04	Linear
	Primavera	7.59E-02	-2.72E-08	0.56	-1.49E-15	-5.53E-08	1.93E-02	0.60	0.04	Linear
	Verão	4.20E-02	-4.63E-08	0.71	-3.34E-15	-9.31E-08	-2.66E-02	0.75	0.04	Linear
	Outono	2.29E-02	-4.04E-08	0.68	-2.82E-15	-7.78E-08	-3.33E-02	0.71	0.03	Linear
	Inverno	-6.54E-03	-3.23E-08	0.64	-1.08E-15	-5.23E-08	-6.39E-02	0.66	0.01	Linear
Goiânia	Período	2.87E-02	-2.39E-08	0.63	-8.57E-16	-4.43E-08	-3.25E-02	0.66	0.03	Linear
	Primavera	3.58E-02	-2.26E-08	0.62	-6.49E-16	-3.92E-08	-1.56E-02	0.65	0.02	Linear
	Verão	-1.56E-02	-4.58E-08	0.74	-2.10E-15	-7.77E-08	-8.03E-02	0.77	0.02	Linear
	Outono	-1.53E-02	-3.66E-08	0.71	-1.90E-15	-6.49E-08	-7.12E-02	0.74	0.02	Linear
	Inverno	-1.52E-02	-2.13E-08	0.68	-3.31E-16	-3.05E-08	-5.35E-02	0.69	0.01	Linear
Imperatriz	Período	1.88E-02	-2.70E-08	0.62	-1.45E-15	-5.67E-08	-6.12E-02	0.66	0.04	Linear
	Primavera	1.30E-02	-2.44E-08	0.55	-1.17E-15	-4.97E-08	-7.49E-02	0.58	0.03	Linear
	Verão	-5.56E-02	-6.53E-08	0.80	-3.40E-15	-9.85E-08	-1.03E-01	0.81	0.01	Linear
	Outono	-2.53E-02	-4.56E-08	0.75	-2.93E-15	-8.53E-08	-9.72E-02	0.78	0.03	Linear
	Inverno	-3.28E-02	-2.58E-08	0.68	-8.19E-16	-4.54E-08	-1.02E-01	0.69	0.02	Linear
Ivinhema	Período	1.31E-02	-3.66E-08	0.67	-1.22E-15	-5.66E-08	-3.16E-02	0.69	0.01	Linear
	Primavera	3.84E-03	-3.97E-08	0.69	-1.03E-15	-5.75E-08	-4.01E-02	0.70	0.01	Linear
	Verão	-8.45E-03	-5.13E-08	0.72	-1.82E-15	-7.52E-08	-5.24E-02	0.73	0.01	Linear
	Outono	-2.77E-03	-3.88E-08	0.69	-1.20E-15	-5.49E-08	-3.27E-02	0.70	0.01	Linear
	Inverno	1.21E-02	-2.72E-08	0.69	-1.38E-16	-2.99E-08	4.98E-03	0.69	0.00	Linear

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: TABELA A6.4 – COEFICIENTES DOS MODELOS MORETTI-JESRSZURKI-SILVA HORÁRIO (LINEAR E QUADRÁTICO), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO ASSOCIANDO “ Ψ_{af} vs ET_{0ASCE} ” (COM DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2017 A 01/01/2019 E RESPECTIVA MÉDIA CLIMÁTICA) PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCALIZADAS EM CLIMA Aw, E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL) DO AJUSTE, DIFERENÇA DOS “ r ” LINEAR E QUADRÁTICO, E SELEÇÃO DO MODELO DE MELHOR AJUSTE.

Localidades	Intervalo	Modelo linear ⁽¹⁾			Modelo quadrático ⁽¹⁾			Diferença ⁽²⁾		Selecionado ⁽³⁾
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	
Januária	Período	2.28E-02	-3.34E-08	0.62	-1.25E-15	-5.93E-08	-5.18E-02	0.64	0.02	Linear
	Primavera	6.12E-02	-2.68E-08	0.64	-9.24E-16	-4.85E-08	-2.93E-03	0.66	0.03	Linear
	Verão	-3.86E-02	-7.11E-08	0.79	-4.97E-16	-7.94E-08	-5.62E-02	0.79	0.00	Linear
	Outono	-5.30E-03	-3.46E-08	0.68	-2.14E-15	-7.03E-08	-9.08E-02	0.72	0.03	Linear
	Inverno	-2.73E-02	-2.79E-08	0.66	-8.59E-16	-4.79E-08	-1.06E-01	0.68	0.02	Linear
Jataí	Período	6.47E-02	-2.51E-08	0.62	-1.02E-15	-4.96E-08	2.28E-03	0.67	0.05	Linear
	Primavera	6.23E-02	-2.80E-08	0.62	-1.18E-15	-5.63E-08	-9.38E-03	0.68	0.05	Quadrático
	Verão	-3.28E-03	-6.23E-08	0.78	-3.64E-15	-1.04E-07	-6.22E-02	0.80	0.02	Linear
	Outono	2.33E-02	-4.13E-08	0.71	-2.41E-15	-7.25E-08	-2.27E-02	0.73	0.02	Linear
	Inverno	8.67E-03	-2.17E-08	0.72	-2.79E-16	-2.95E-08	-1.99E-02	0.72	0.01	Linear
João Pinheiro	Período	3.38E-02	-2.78E-08	0.56	-1.05E-15	-4.86E-08	-2.97E-02	0.58	0.02	Linear
	Primavera	5.92E-02	-2.38E-08	0.55	-7.95E-16	-4.10E-08	9.19E-03	0.57	0.02	Linear
	Verão	9.91E-03	-4.16E-08	0.61	-2.14E-15	-7.42E-08	-6.92E-02	0.63	0.02	Linear
	Outono	-3.21E-02	-4.18E-08	0.64	-1.23E-15	-5.85E-08	-7.14E-02	0.65	0.00	Linear
	Inverno	-1.88E-03	-2.60E-08	0.58	-5.42E-16	-3.81E-08	-4.91E-02	0.59	0.01	Linear
Lençóis	Período	3.15E-03	-3.46E-08	0.63	-1.99E-15	-5.36E-08	-3.85E-02	0.64	0.01	Linear
	Primavera	2.62E-03	-3.19E-08	0.61	-1.01E-15	-4.97E-08	-4.18E-02	0.62	0.01	Linear
	Verão	-7.50E-03	-3.66E-08	0.63	-1.45E-15	-6.20E-08	-7.58E-02	0.65	0.02	Linear
	Outono	7.76E-03	-3.92E-08	0.62	-1.59E-15	-5.92E-08	-2.59E-02	0.64	0.02	Linear
	Inverno	-6.54E-03	-3.55E-08	0.65	-1.27E-15	-5.25E-08	-3.91E-02	0.65	0.01	Linear
Marabá	Período	1.56E-02	-4.20E-08	0.71	-2.88E-15	-8.61E-08	-6.96E-02	0.76	0.05	Quadrático
	Primavera	-1.33E-02	-4.19E-08	0.69	-2.32E-15	-7.58E-08	-8.58E-02	0.72	0.03	Linear
	Verão	-4.64E-02	-8.62E-08	0.82	-7.07E-15	-1.40E-07	-1.05E-01	0.84	0.01	Linear
	Outono	-1.15E-02	-6.11E-08	0.78	-6.43E-15	-1.29E-07	-1.05E-08	0.83	0.05	Quadrático
	Inverno	-2.06E-02	-3.85E-08	0.76	-1.89E-15	-7.23E-08	-1.05E-01	0.78	0.03	Linear
Palmas	Período	2.53E-02	-2.24E-08	0.62	-4.99E-16	-3.50E-08	-1.52E-02	0.63	0.01	Linear
	Primavera	3.75E-02	-2.11E-08	0.59	-6.96E-16	-3.90E-08	-2.10E-02	0.62	0.03	Linear
	Verão	-7.16E-02	-8.76E-08	0.80	-3.17E-15	-1.12E-07	-1.00E-01	0.80	0.00	Linear
	Outono	-3.65E-02	-3.68E-08	0.74	-7.67E-16	-5.00E-08	-6.85E-02	0.74	0.00	Linear
	Inverno	-1.26E-01	-2.71E-08	0.70	-1.43E-16	-3.17E-08	-1.54E-01	0.70	0.00	Linear
Pedro Afonso	Período	3.87E-02	-2.58E-08	0.63	-1.35E-15	-5.77E-08	-4.54E-02	0.69	0.06	Quadrático
	Primavera	3.10E-02	-2.68E-08	0.62	-1.34E-15	-5.86E-08	-5.95E-02	0.68	0.06	Quadrático
	Verão	-3.63E-02	-6.95E-08	0.76	-4.90E-15	-1.20E-07	-1.05E-01	0.78	0.02	Linear
	Outono	2.94E-03	-3.97E-08	0.72	-3.09E-15	-8.71E-08	-8.29E-02	0.76	0.05	Linear
	Inverno	-3.32E-02	-2.46E-08	0.74	-6.65E-16	-4.28E-08	-1.01E-01	0.75	0.01	Linear

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: TABELA A6.4 – COEFICIENTES DOS MODELOS MORETTI-JESRSZURKI-SILVA HORÁRIO (LINEAR E QUADRÁTICO), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO ASSOCIANDO “ Ψ_{ar} vs ET_{OASCE} ” (COM DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2017 A 01/01/2019 E RESPECTIVA MÉDIA CLIMÁTICA) PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCALIZADAS EM CLIMA Aw, E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL) DO AJUSTE, DIFERENÇA DOS “ r ” LINEAR E QUADRÁTICO, E SELEÇÃO DO MODELO DE MELHOR AJUSTE.

Localidades	Intervalo	Modelo linear ⁽¹⁾			Modelo quadrático ⁽¹⁾			Diferença ⁽²⁾		Selecionado ⁽³⁾
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	
Pirapora	Período	1.62E-02	-2.93E-08	0.64	-1.19E-15	-5.51E-08	-6.15E-02	0.68	0.04	Linear
	Primavera	3.70E-02	-2.36E-08	0.59	-7.23E-16	-4.14E-08	-2.21E-02	0.61	0.02	Linear
	Verão	1.80E-03	-4.29E-08	0.72	-2.16E-15	-8.22E-08	-9.58E-02	0.75	0.04	Linear
	Outono	-2.26E-02	-3.91E-08	0.72	-1.99E-15	-7.06E-08	-9.24E-02	0.74	0.02	Linear
	Inverno	-1.66E-02	-2.71E-08	0.69	-7.98E-16	-4.56E-08	-8.10E-02	0.71	0.02	Linear
Posse	Período	5.02E-02	-2.19E-08	0.51	-7.41E-16	-3.93E-08	-1.39E-02	0.54	0.02	Linear
	Primavera	6.75E-02	-1.80E-08	0.52	-4.67E-16	-3.02E-08	2.49E-02	0.54	0.01	Linear
	Verão	2.36E-03	-4.34E-08	0.66	-2.02E-15	-7.64E-08	-7.78E-02	0.69	0.03	Linear
	Outono	-3.68E-02	-3.63E-08	0.61	-4.91E-16	-4.44E-08	-6.08E-02	0.61	0.00	Linear
	Inverno	3.18E-03	-2.18E-08	0.49	-3.15E-16	-3.03E-08	-4.08E-02	0.49	0.00	Linear
Rondonópolis	Período	6.04E-02	-2.29E-08	0.59	-9.79E-16	-4.72E-08	-3.89E-03	0.64	0.05	Quadrático
	Primavera	5.80E-02	-2.73E-08	0.55	-1.24E-15	-5.53E-08	-1.64E-02	0.60	0.05	Linear
	Verão	-1.80E-02	-6.48E-08	0.78	-3.77E-15	-1.05E-07	-7.30E-02	0.80	0.02	Linear
	Outono	2.61E-02	-4.02E-08	0.75	-2.23E-15	-7.07E-08	-4.52E-02	0.77	0.02	Linear
	Inverno	8.94E-03	-1.95E-08	0.70	-2.80E-16	-2.78E-08	-2.32E-02	0.70	0.01	Linear
São Luís	Período	-5.84E-02	-8.20E-08	0.85	-5.98E-16	-8.67E-08	-6.39E-02	0.85	0.00	Linear
	Primavera	-1.91E-01	-9.95E-08	0.93	3.87E-15	-6.23E-08	-1.23E-01	0.93	0.00	Linear
	Verão	-7.07E-02	-9.90E-08	0.84	6.60E-15	-6.00E-08	-3.55E-02	0.85	0.01	Linear
	Outono	-3.54E-02	-9.43E-08	0.88	-5.28E-15	-1.26E-07	-5.84E-02	0.88	0.01	Linear
	Inverno	-5.13E-02	-7.68E-08	0.87	-3.88E-15	-1.12E-07	-9.95E-02	0.88	0.01	Linear
Teresina	Período	4.10E-02	-2.06E-08	0.49	-8.34E-16	-3.73E-08	-1.13E-01	0.51	0.02	Linear
	Primavera	2.36E-02	-1.91E-08	0.49	-5.95E-16	-3.32E-08	-3.54E-02	0.50	0.01	Linear
	Verão	3.34E-02	-2.80E-08	0.45	-1.73E-15	-5.41E-08	-2.92E-02	0.48	0.03	Linear
	Outono	-7.30E-03	-4.09E-08	0.53	-5.00E-15	-9.14E-08	-9.66E-02	0.56	0.03	Linear
	Inverno	-1.64E-03	-2.39E-08	0.57	-8.41E-16	-4.17E-08	-6.50E-02	0.58	0.01	Linear
Votuporanga	Período	1.21E-02	-3.02E-08	0.70	-1.08E-15	-5.42E-08	-5.67E-02	0.73	0.03	Linear
	Primavera	1.38E-02	-3.14E-08	0.69	-9.99E-16	-5.34E-08	-5.01E-02	0.71	0.02	Linear
	Verão	-2.38E-02	-4.97E-08	0.77	-2.02E-15	-7.91E-08	-8.05E-02	0.79	0.02	Linear
	Outono	-3.14E-02	-3.82E-08	0.75	-1.33E-15	-5.84E-08	-7.42E-02	0.76	0.01	Linear
	Inverno	-7.26E-03	-2.46E-08	0.75	-5.54E-16	-3.97E-08	-6.53E-02	0.76	0.01	Linear
Média clima Aw	Período	2.65E-02	-3.14E-08	0.62	-1.36E-15	-5.69E-08	-4.60E-02	0.65	0.03	Linear
	Primavera	2.87E-02	-3.01E-08	0.58	-7.79E-16	-4.83E-08	-2.55E-02	0.62	0.04	Linear
	Verão	-1.47E-02	-5.62E-08	0.72	-2.19E-15	-8.48E-08	-6.71E-02	0.74	0.02	Linear
	Outono	-1.49E-02	-4.51E-08	0.70	-2.25E-15	-7.34E-08	-6.45E-02	0.72	0.02	Linear
	Inverno	-2.06E-02	-2.98E-08	0.66	-7.83E-16	-4.54E-08	-7.48E-02	0.67	0.01	Linear

⁽¹⁾ Coeficientes dos modelos: Linear – “*a*” (mm h⁻¹) e “*b*” (mm h⁻¹ MPa⁻¹); e, Quadrático – “*a*” (mm h⁻¹ MPa⁻²), “*b*” (mm h⁻¹ MPa⁻¹) e “*c*” (mm h⁻¹). ⁽²⁾ Diferença dos “*r*” linear e quadrático em módulo; ⁽³⁾ Optou-se por selecionar o modelo quadrático somente quando o coeficiente de correlação ($r_{\text{quadrático}}$) da associação “ $ET_{O_{MJS}(\Psi_{ar})_{Q,h}}$ vs $ET_{O_{ASCE}}$ ” foi superior a 5% do r_{linear} da associação “ $ET_{O_{MJS}(\Psi_{ar})_{L,h}}$ vs $ET_{O_{ASCE}}$ ”.

TABELA A6.5 – COEFICIENTES DOS MODELOS MORETTI-JESRSZURKI-SILVA HORÁRIO (LINEAR E QUADRÁTICO), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO ASSOCIANDO “ Y_{ar} vs ET_{oASCE} ” (COM DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2017 A 01/01/2019 E RESPECTIVA MÉDIA CLIMÁTICA) PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCALIZADAS EM CLIMA BSh , E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL) DO AJUSTE, DIFERENÇA DOS “ r ” LINEAR E QUADRÁTICO, E SELEÇÃO DO MODELO DE MELHOR AJUSTE.

Localidades	Intervalo	Modelo linear ⁽¹⁾			Modelo quadrático ⁽¹⁾			Diferença ⁽²⁾		Selecionado ⁽³⁾
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	
Cabrobó	Período	4.29E-02	-2.61E-08	0.47	-1.80E-15	-5.72E-08	-4.35E-02	0.50	0.03	Linear
	Primavera	7.24E-02	-2.10E-08	0.40	-1.95E-15	-6.18E-08	-7.91E-02	0.45	0.05	Linear
	Verão	3.37E-02	-2.83E-08	0.44	-1.77E-15	-5.66E-08	-4.27E-02	0.46	0.02	Linear
	Outono	1.09E-02	-3.38E-08	0.51	-1.46E-15	-5.27E-08	-2.85E-02	0.53	0.01	Linear
	Inverno	2.94E-02	-2.95E-08	0.53	-1.98E-15	-5.96E-08	-4.45E-02	0.56	0.03	Linear
Irecê	Período	2.62E-02	-2.91E-08	0.58	-1.78E-15	-6.29E-08	-7.17E-02	0.62	0.04	Linear
	Primavera	4.47E-02	-2.56E-08	0.55	-1.39E-15	-5.48E-08	-4.86E-02	0.58	0.03	Linear
	Verão	2.55E-02	-2.84E-08	0.56	-1.74E-15	-6.28E-08	-8.14E-02	0.59	0.03	Linear
	Outono	2.09E-03	-3.49E-08	0.60	-2.56E-15	-7.41E-08	-9.09E-02	0.64	0.04	Linear
	Inverno	1.36E-02	-3.24E-08	0.62	-2.10E-15	-6.94E-08	-8.61E-02	0.67	0.05	Linear
Itaberaba	Período	3.71E-03	-3.81E-08	0.73	-1.83E-15	-6.26E-08	-4.00E-02	0.75	0.02	Linear
	Primavera	8.83E-04	-3.88E-08	0.74	-2.07E-15	-6.87E-08	-5.85E-02	0.76	0.02	Linear
	Verão	3.30E-03	-3.63E-08	0.71	-2.06E-15	-6.70E-08	-6.09E-02	0.73	0.02	Linear
	Outono	7.29E-03	-3.87E-08	0.72	-1.94E-15	-6.12E-08	-2.58E-02	0.74	0.02	Linear
	Inverno	-3.09E-03	-4.07E-08	0.75	-1.70E-15	-5.97E-08	-3.09E-02	0.76	0.01	Linear
Macau	Período	-5.89E-02	-5.10E-08	0.80	-1.80E-15	-8.30E-08	-1.56E-02	0.81	0.02	Linear
	Primavera	-9.98E-02	-5.53E-08	0.80	-2.32E-15	-9.97E-08	-2.57E-01	0.83	0.03	Linear
	Verão	-1.10E-01	-6.47E-08	0.83	-1.45E-15	-8.54E-08	-1.64E-01	0.83	0.00	Linear
	Outono	-6.39E-02	-6.22E-08	0.81	-2.01E-15	-8.79E-08	-1.18E-01	0.82	0.01	Linear
	Inverno	-7.22E-02	-4.53E-08	0.83	-1.10E-15	-6.75E-08	-1.49E-01	0.84	0.01	Linear
Monteiro	Período	1.55E-02	-3.00E-08	0.67	-1.80E-15	-6.83E-08	-1.05E-01	0.71	0.04	Linear
	Primavera	1.74E-02	-2.84E-08	0.66	-1.76E-15	-7.01E-08	-1.40E-01	0.70	0.04	Linear
	Verão	3.73E-02	-2.49E-08	0.58	-1.99E-15	-7.09E-08	-1.36E-01	0.64	0.06	Quadrático
	Outono	-1.25E-03	-3.65E-08	0.67	-2.14E-15	-7.27E-08	-9.03E-02	0.71	0.04	Linear
	Inverno	-1.41E-02	-3.61E-08	0.75	-1.83E-15	-7.01E-08	-1.07E-01	0.77	0.02	Linear

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: TABELA A6.5 – COEFICIENTES DOS MODELOS MORETTI-JESRSZURKI-SILVA HORÁRIO (LINEAR E QUADRÁTICO), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO ASSOCIANDO “ Ψ_{ar} vs ET_{OASCE} ” (COM DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2017 A 01/01/2019 E RESPECTIVA MÉDIA CLIMÁTICA) PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCALIZADAS EM CLIMA BSh, E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL) DO AJUSTE, DIFERENÇA DOS “ r ” LINEAR E QUADRÁTICO, E SELEÇÃO DO MODELO DE MELHOR AJUSTE.

Localidades	Intervalo	Modelo linear ⁽¹⁾			Modelo quadrático ⁽¹⁾			Diferença ⁽²⁾		Selecionado ⁽³⁾
		a	b	r	a	b	c	a	b	
Ouricuri	Período	5.20E-02	-2.39E-08	0.53	-8.79E-16	-4.45E-08	-2.96E-02	0.55	0.02	Linear
	Primavera	8.25E-02	-2.02E-08	0.46	-7.14E-16	-4.02E-08	-2.07E-02	0.48	0.02	Linear
	Verão	8.26E-02	-2.38E-08	0.48	-1.23E-16	-5.26E-08	-3.76E-02	0.51	0.03	Linear
	Outono	1.55E-02	-2.98E-08	0.57	-8.66E-16	-4.50E-08	-2.92E-02	0.60	0.02	Linear
	Inverno	2.82E-02	-2.53E-08	0.55	-7.68E-16	-4.20E-08	-3.39E-02	0.56	0.01	Linear
Paulistana	Período	6.67E-02	-2.31E-08	0.46	-1.13E-15	-5.21E-08	-6.89E-02	0.49	0.03	Linear
	Primavera	9.37E-02	-1.87E-08	0.40	-7.79E-16	-4.11E-08	-2.58E-02	0.42	0.02	Linear
	Verão	3.46E-02	-2.71E-08	0.52	-1.37E-15	-5.90E-08	-9.44E-02	0.55	0.03	Linear
	Outono	2.51E-02	-3.07E-08	0.52	-1.45E-15	-6.10E-08	-9.10E-02	0.54	0.02	Linear
	Inverno	5.78E-02	-2.44E-08	0.46	-1.12E-15	-5.38E-08	-9.29E-02	0.48	0.02	Linear
Petrolina	Período	5.16E-02	-1.87E-08	0.50	-1.32E-15	-5.03E-08	-9.08E-02	0.54	0.04	Linear
	Primavera	5.79E-02	-1.73E-08	0.48	-1.18E-15	-4.78E-08	-8.83E-02	0.52	0.04	Linear
	Verão	6.16E-02	-1.71E-08	0.44	-1.33E-15	-5.03E-08	-9.81E-02	0.48	0.04	Linear
	Outono	3.59E-02	-2.20E-08	0.61	-1.74E-15	-5.97E-08	-1.22E-01	0.60	-0.01	Linear
	Inverno	2.73E-02	-2.23E-08	0.57	-1.38E-15	-5.17E-08	-8.84E-02	0.60	0.03	Linear
Remanso	Período	-1.91E-02	-3.26E-08	0.58	-1.05E-15	-5.88E-08	-1.40E-01	0.60	0.02	Linear
	Primavera	1.84E-03	-2.82E-08	0.53	-6.94E-16	-4.74E-08	-9.88E-02	0.54	0.01	Linear
	Verão	-1.01E-02	-3.24E-08	0.58	-8.53E-16	-5.27E-08	-9.49E-02	0.59	0.01	Linear
	Outono	-5.95E-02	-4.08E-08	0.62	-1.57E-15	-7.36E-08	-1.90E-01	0.64	0.01	Linear
	Inverno	-7.20E-02	-3.74E-08	0.63	-1.64E-15	-7.80E-08	-2.72E-01	0.65	0.02	Linear
Média clima BSh	Período	1.23E-02	-3.25E-08	0.61	-1.47E-15	-6.17E-08	-6.72E-02	0.63	0.03	Linear
	Primavera	2.02E-02	-3.07E-08	0.58	-1.39E-15	-6.03E-08	-9.27E-02	0.60	0.03	Linear
	Verão	9.07E-03	-3.39E-08	0.59	-1.37E-15	-6.43E-08	-9.56E-02	0.61	0.03	Linear
	Outono	-1.07E-02	-3.91E-08	0.64	-1.79E-15	-6.79E-08	-9.07E-02	0.66	0.02	Linear
	Inverno	-8.83E-03	-3.45E-08	0.64	-1.47E-15	-6.29E-08	-1.10E-01	0.67	0.02	Linear

⁽¹⁾ Coeficientes dos modelos: Linear – “ a ” (mm h⁻¹) e “ b ” (mm h⁻¹ MPa⁻¹); e, Quadrático – “ a ” (mm h⁻¹ MPa⁻²), “ b ” (mm h⁻¹ MPa⁻¹) e “ c ” (mm h⁻¹). ⁽²⁾ Diferença dos “ r ” linear e quadrático em módulo; ⁽³⁾ Optou-se por selecionar o modelo quadrático somente quando o coeficiente de correlação ($r_{quadrático}$) da associação “ ET_{OASCE} vs $ET_{MJS(\Psi_{ar})Q,h}$ ” foi superior a 5% do r_{linear} da associação “ ET_{OASCE} vs $ET_{MJS(\Psi_{ar})L,h}$ ”.

TABELA A6.6 – COEFICIENTES DOS MODELOS MORETTI-JESRSZURKI-SILVA HORÁRIO (LINEAR E QUADRÁTICO), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO ASSOCIANDO “ Y_{ar} vs ET_{oASCE} ” (COM DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2017 A 01/01/2019 E RESPECTIVA MÉDIA CLIMÁTICA) PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCALIZADAS EM CLIMA Cfa, E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL) DO AJUSTE, DIFERENÇA DOS “ r ” LINEAR E QUADRÁTICO, E SELEÇÃO DO MODELO DE MELHOR AJUSTE.

Localidades	Intervalo	Modelo linear ⁽¹⁾			Modelo quadrático ⁽¹⁾			Diferença ⁽²⁾	Selecionado ⁽³⁾	
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>			
Bagé	Período	2.06E-02	-4.765E-08	0.77	-2.05E-15	-7.75E-08	-2.51E-02	0.80	0.03	Linear
	Primavera	3.19E-02	-4.56E-08	0.73	-1.89E-15	-7.52E-08	-2.32E-02	0.76	0.03	Linear
	Verão	3.75E-02	-4.38E-08	0.74	-2.40E-15	-8.45E-08	-4.89E-02	0.78	0.04	Linear
	Outono	-3.36E-03	-5.64E-08	0.79	-2.53E-15	-7.96E-08	-2.72E-02	0.80	0.01	Linear
	Inverno	-1.50E-03	-6.09E-08	0.81	-1.28E-15	-7.17E-08	-1.11E-02	0.81	0.00	Linear
Bento Gonçalves	Período	1.26E-02	-5.24E-08	0.68	-2.99E-15	-8.40E-08	-2.88E-02	0.71	0.03	Linear
	Primavera	3.36E-02	-4.64E-08	0.66	-3.26E-15	-8.73E-08	-2.99E-02	0.70	0.04	Linear
	Verão	-1.17E-02	-6.83E-08	0.72	-4.85E-15	-1.18E-07	-8.73E-02	0.75	0.03	Linear
	Outono	-1.44E-03	-5.64E-08	0.69	-2.17E-15	-7.17E-08	-1.54E-02	0.69	0.00	Linear
	Inverno	2.19E-02	-3.96E-08	0.62	-2.03E-15	-5.87E-08	1.17E-03	0.64	0.02	Linear
Florianópolis	Período	-8.10E-02	-7.86E-08	0.79	-9.05E-16	-8.65E-08	-9.26E-02	0.79	0.00	Linear
	Primavera	-8.03E-02	-7.87E-08	0.75	-3.14E-15	-1.12E-07	-1.39E-01	0.76	0.01	Linear
	Verão	-1.39E-01	-9.31E-08	0.81	3.10E-16	-9.02E-08	-1.34E-01	0.81	0.00	Linear
	Outono	-6.40E-02	-6.86E-08	0.80	-3.32E-16	-7.12E-08	-6.73E-02	0.80	0.00	Linear
	Inverno	-5.22E-02	-7.22E-08	0.79	-1.41E-15	-8.19E-08	-6.29E-02	0.79	0.00	Linear
Indaial	Período	-5.58E-03	-5.91E-08	0.79	-2.22E-15	-8.15E-08	-2.94E-02	0.81	0.02	Linear
	Primavera	3.57E-03	-5.41E-08	0.77	-2.58E-15	-8.76E-08	-4.33E-02	0.81	0.04	Linear
	Verão	-2.07E-02	-6.94E-08	0.82	-2.59E-15	-9.42E-08	-4.83E-02	0.83	0.01	Linear
	Outono	-5.32E-03	-5.82E-08	0.79	-2.94E-15	-7.88E-08	-1.94E-02	0.80	0.01	Linear
	Inverno	-2.17E-03	-5.42E-08	0.78	-2.72E-15	-7.40E-08	-1.64E-02	0.79	0.01	Linear
Maringá	Período	2.07E-02	-3.00E-08	0.57	-1.03E-15	-4.80E-08	-2.56E-02	0.59	0.02	Linear
	Primavera	2.43E-02	-3.08E-08	0.57	-1.00E-15	-4.92E-08	-2.60E-02	0.58	0.01	Linear
	Verão	-7.30E-03	-4.85E-08	0.65	-2.66E-15	-8.24E-08	-7.24E-02	0.67	0.02	Linear
	Outono	-1.82E-02	-3.86E-08	0.64	-3.02E-16	-4.24E-08	-2.57E-02	0.64	0.00	Linear
	Inverno	2.33E-03	-2.44E-08	0.60	-1.07E-16	-2.66E-08	-4.47E-03	0.60	0.00	Linear
Porto Alegre	Período	-1.56E-02	-6.19E-08	0.79	-1.49E-15	-7.69E-08	-3.34E-02	0.79	0.00	Linear
	Primavera	-1.07E-02	-6.19E-08	0.79	-1.51E-15	-8.01E-08	-3.78E-02	0.80	0.01	Linear
	Verão	-3.87E-02	-7.15E-08	0.80	-3.25E-15	-1.06E-07	-9.11E-02	0.82	0.01	Linear
	Outono	-1.57E-02	-5.97E-08	0.77	-3.08E-16	-6.20E-08	-1.77E-02	0.77	0.00	Linear
	Inverno	5.06E-03	-4.65E-08	0.73	-2.58E-15	-6.85E-08	-1.34E-02	0.74	0.01	Linear
Rio Grande	Período	-3.87E-02	-6.75E-08	0.79	-2.08E-15	-8.89E-08	-7.14E-02	0.80	0.01	Linear
	Primavera	-2.42E-02	-6.52E-08	0.76	-3.54E-15	-1.08E-07	-1.03E-01	0.79	0.03	Linear
	Verão	-7.93E-02	-7.70E-08	0.79	-2.99E-15	-1.12E-07	-1.52E-01	0.81	0.02	Linear
	Outono	-3.41E-02	-5.98E-08	0.77	-8.76E-16	-6.67E-08	-4.25E-02	0.77	0.00	Linear
	Inverno	-1.28E-02	-6.05E-08	0.74	-3.75E-15	-8.51E-08	-3.43E-02	0.75	0.01	Linear

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: TABELA A6.6 – COEFICIENTES DOS MODELOS MORETTI-JESRSZURKI-SILVA HORÁRIO (LINEAR E QUADRÁTICO), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO ASSOCIANDO “ Ψ_{ar} vs ET_{OASCE} ” (COM DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2017 A 01/01/2019 E RESPECTIVA MÉDIA CLIMÁTICA) PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCALIZADAS EM CLIMA Cfa , E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL) DO AJUSTE, DIFERENÇA DOS “ r ” LINEAR E QUADRÁTICO, E SELEÇÃO DO MODELO DE MELHOR AJUSTE.

Localidades	Intervalo	Modelo linear ⁽¹⁾			Modelo quadrático ⁽¹⁾			Diferença ⁽²⁾		Selecionado ⁽³⁾
		a	b	r	a	b	c	a	b	
Uruguaiana	Período	1.50E-02	-4.41E-08	0.76	-1.34E-15	-6.57E-08	-2.64E-02	0.78	0.02	Linear
	Primavera	2.81E-02	-4.13E-08	0.74	-1.31E-15	-6.68E-08	-3.81E-02	0.76	0.02	Linear
	Verão	2.47E-02	-4.35E-08	0.72	-1.80E-15	-7.39E-08	-4.61E-02	0.74	0.02	Linear
	Outono	-8.76E-04	-4.89E-08	0.78	-1.79E-15	-6.77E-08	-2.37E-02	0.79	0.01	Linear
	Inverno	9.12E-05	-4.89E-08	0.78	-1.54E-15	-6.43E-08	-1.79E-02	0.78	0.01	Linear
Vitória da Conquista	Período	1.45E-02	-6.15E-08	0.79	-2.71E-15	-9.11E-08	-1.40E-02	0.80	0.02	Linear
	Primavera	1.36E-02	-5.95E-08	0.79	-2.18E-15	-8.66E-08	-1.87E-02	0.81	0.01	Linear
	Verão	7.44E-03	-5.75E-08	0.77	-2.74E-15	-8.81E-08	-2.81E-02	0.78	0.01	Linear
	Outono	7.36E-03	-7.26E-08	0.81	-4.00E-15	-1.06E-07	-1.52E-02	0.82	0.02	Linear
	Inverno	-1.67E-02	-6.83E-08	0.80	-3.37E-15	-1.01E-07	-8.94E-03	0.82	0.02	Linear
Média clima Cfa	Período	-1.33E-02	-5.87E-08	0.74	-1.92E-15	-7.96E-08	-4.22E-02	0.76	0.01	Linear
	Primavera	-5.74E-03	-5.67E-08	0.73	-2.46E-15	-8.72E-08	-5.69E-02	0.75	0.02	Linear
	Verão	-4.14E-02	-6.93E-08	0.76	-2.68E-15	-9.87E-08	-8.76E-02	0.77	0.02	Linear
	Outono	-1.88E-02	-5.91E-08	0.76	-1.56E-15	-7.13E-08	-2.90E-02	0.76	0.00	Linear
	Inverno	-7.79E-03	-5.22E-08	0.73	-2.28E-15	-7.09E-08	-1.99E-02	0.74	0.01	Linear

⁽¹⁾ Coeficientes dos modelos: Linear – “ a ” (mm h^{-1}) e “ b ” ($\text{mm h}^{-1} \text{MPa}^{-1}$); e, Quadrático – “ a ” ($\text{mm h}^{-1} \text{MPa}^{-2}$), “ b ” ($\text{mm h}^{-1} \text{MPa}^{-1}$) e “ c ” (mm h^{-1}). ⁽²⁾ Diferença dos “ r ” linear e quadrático em módulo; ⁽³⁾ Optou-se por selecionar o modelo quadrático somente quando o coeficiente de correlação ($r_{\text{quadrático}}$) da associação “ ET_{OASCE} vs ET_{OASCE} ” foi superior a 5% do r_{linear} da associação “ ET_{OASCE} vs ET_{OASCE} ”.

TABELA A6.7 – COEFICIENTES DOS MODELOS MORETTI-JESRSZURKI-SILVA HORÁRIO (LINEAR E QUADRÁTICO), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO ASSOCIANDO “ y_{ar} vs ET_{oASCE} ” (COM DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2017 A 01/01/2019 E RESPECTIVA MÉDIA CLIMÁTICA) PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCALIZADAS EM CLIMA Cfb, E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL) DO AJUSTE, DIFERENÇA DOS “ r ” LINEAR E QUADRÁTICO, E SELEÇÃO DO MODELO DE MELHOR AJUSTE.

Localidades	Intervalo	Modelo linear ⁽¹⁾			Modelo quadrático ⁽¹⁾			Diferença ⁽²⁾		Selecionado ⁽³⁾
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	
Castro	Período	9.00E-03	-4.17E-08	0.73	-1.88E-15	-6.49E-08	-1.72E-02	0.75	0.02	Linear
	Primavera	1.30E-02	-4.76E-08	0.78	-2.62E-15	-8.28E-08	-3.19E-02	0.81	0.03	Linear
	Verão	-7.60E-03	-6.75E-08	0.81	-4.35E-15	-1.09E-07	-5.24E-02	0.83	0.02	Linear
	Outono	6.31E-03	-3.02E-08	0.69	-2.64E-15	-5.42E-08	-1.41E-02	0.72	0.03	Linear
	Inverno	3.70E-03	-2.82E-08	0.80	1.32E-16	-2.64E-08	5.66E-03	0.80	0.00	Linear
Ivaí	Período	1.92E-02	-4.53E-08	0.71	-2.79E-15	-8.20E-08	-3.37E-02	0.76	0.04	Linear
	Primavera	2.67E-02	-4.30E-08	0.71	-2.52E-15	-8.10E-08	-3.96E-02	0.75	0.04	Linear
	Verão	3.51E-04	-6.32E-08	0.76	-4.91E-15	-1.15E-07	-6.51E-02	0.80	0.04	Linear
	Outono	2.50E-03	-5.04E-08	0.75	-4.03E-15	-8.82E-08	-3.65E-02	0.78	0.03	Linear
	Inverno	2.50E-02	-3.54E-08	0.70	-1.90E-15	-6.23E-08	-1.61E-02	0.74	0.03	Linear
Lages	Período	2.35E-02	-5.93E-08	0.76	-4.50E-15	-1.03E-07	-1.59E-02	0.80	0.04	Linear
	Primavera	3.94E-02	-5.35E-08	0.73	-4.64E-15	-1.06E-07	-2.09E-02	0.78	0.05	Quadrático
	Verão	2.43E-02	-6.27E-08	0.75	-5.79E-15	-1.20E-07	-3.65E-02	0.80	0.05	Linear
	Outono	1.20E-02	-6.26E-08	0.76	-6.07E-15	-1.03E-07	-1.18E-02	0.79	0.03	Linear
	Inverno	1.81E-02	-6.10E-08	0.80	-3.83E-15	-9.50E-08	-6.41E-03	0.83	0.03	Linear
Lagoa Vermelha	Período	2.74E-02	-4.73E-08	0.69	-3.02E-15	-8.26E-08	-1.66E-02	0.73	0.03	Linear
	Primavera	4.35E-02	-4.23E-08	0.68	-2.90E-15	-8.24E-08	-1.64E-02	0.72	0.04	Linear
	Verão	2.22E-02	-6.04E-08	0.70	-4.72E-15	-1.09E-07	-4.23E-02	0.74	0.04	Linear
	Outono	1.36E-02	-4.82E-08	0.70	-3.05E-15	-7.56E-08	-2.40E-02	0.72	0.02	Linear
	Inverno	2.38E-02	-4.06E-08	0.74	-2.25E-15	-6.42E-08	-1.01E-03	0.70	-0.04	Linear
Passo Fundo	Período	3.00E-02	-4.51E-08	0.70	-2.60E-15	-7.74E-08	-1.28E-02	0.74	0.03	Linear
	Primavera	4.38E-02	-3.77E-08	0.69	-2.02E-15	-6.81E-08	-7.81E-03	0.71	0.03	Linear
	Verão	1.88E-02	-6.05E-08	0.72	-3.96E-15	-1.02E-07	-3.57E-02	0.75	0.03	Linear
	Outono	1.26E-02	-4.79E-08	0.74	-2.72E-15	-7.40E-08	-1.35E-02	0.75	0.02	Linear
	Inverno	2.22E-02	-4.55E-08	0.71	-2.13E-15	-6.77E-08	-1.03E-03	0.73	0.02	Linear
São Joaquim	Período	3.02E-02	-5.67E-08	0.69	-4.53E-15	-1.00E-07	-1.12E-02	0.73	0.04	Linear
	Primavera	2.93E-02	-6.46E-08	0.74	-4.54E-15	-1.08E-07	-1.24E-02	0.77	0.03	Linear
	Verão	1.61E-02	-8.20E-08	0.76	-7.63E-15	-1.44E-07	-4.04E-02	0.80	0.04	Linear
	Outono	1.97E-02	-5.86E-08	0.68	-4.72E-15	-9.49E-08	-7.06E-03	0.73	0.04	Linear
	Inverno	3.11E-02	-3.74E-08	0.66	-2.08E-15	-6.09E-08	6.18E-03	0.68	0.02	Linear

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: TABELA A6.7 – COEFICIENTES DOS MODELOS MORETTI-JESRSZURKI-SILVA HORÁRIO (LINEAR E QUADRÁTICO), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO ASSOCIANDO “ Ψ_{ar} vs ET_{OASCE} ” (COM DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2017 A 01/01/2019 E RESPECTIVA MÉDIA CLIMÁTICA) PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCALIZADAS EM CLIMA *Cfb*, E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL) DO AJUSTE, DIFERENÇA DOS “ r ” LINEAR E QUADRÁTICO, E SELEÇÃO DO MODELO DE MELHOR AJUSTE.

Localidades	Intervalo	----- Modelo linear ⁽¹⁾ -----			----- Modelo quadrático ⁽¹⁾ -----			Diferença ⁽²⁾		Selecionado ⁽³⁾
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>
São Paulo	Período	1.17E-02	-3.57E-08	0.62	-1.88E-15	-6.78E-08	-6.31E-02	0.66	0.04	Linear
	Primavera	1.94E-02	-3.28E-08	0.59	-2.31E-15	-7.45E-08	-8.61E-02	0.64	0.05	Linear
	Verão	-1.32E-02	-4.39E-08	0.80	-3.39E-15	-9.28E-08	-1.24E-01	0.67	-0.13	Linear
	Outono	-3.57E-02	-5.39E-08	0.70	-2.62E-15	-8.29E-08	-8.50E-02	0.71	0.01	Linear
	Inverno	1.92E-02	-3.06E-08	0.65	-9.09E-16	-4.80E-08	-2.15E-02	0.67	0.01	Linear
Média clima <i>Cfb</i>	Período	2.36E-02	-4.82E-08	0.70	-3.22E-15	-8.56E-08	-2.55E-02	0.73	0.04	Linear
	Primavera	3.37E-02	-4.56E-08	0.69	-3.16E-15	-8.67E-08	-3.05E-02	0.73	0.04	Linear
	Verão	1.14E-02	-6.21E-08	0.75	-5.07E-15	-1.14E-07	-5.73E-02	0.76	0.01	Linear
	Outono	4.12E-03	-5.36E-08	0.72	-3.87E-15	-8.64E-08	-2.96E-02	0.75	0.03	Linear
	Inverno	2.32E-02	-4.17E-08	0.71	-2.18E-15	-6.63E-08	-6.63E-03	0.72	0.01	Linear

⁽¹⁾ Coeficientes dos modelos: Linear – “*a*” (mm h⁻¹) e “*b*” (mm h⁻¹ MPa⁻¹); e, Quadrático – “*a*” (mm h⁻¹ MPa⁻²), “*b*” (mm h⁻¹ MPa⁻¹) e “*c*” (mm h⁻¹). ⁽²⁾ Diferença dos “*r*” linear e quadrático em módulo; ⁽³⁾ Optou-se por selecionar o modelo quadrático somente quando o coeficiente de correlação ($r_{quadrático}$) da associação “ ET_{OASCE} vs ET_{OASCE} ” foi superior a 5% do r_{linear} da associação “ ET_{OASCE} vs ET_{OASCE} ”.

TABELA A6.8 – COEFICIENTES DOS MODELOS MORETTI-JESRSZURKI-SILVA HORÁRIO (LINEAR E QUADRÁTICO), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO ASSOCIANDO “ Y_{ar} vs ET_{oASCE} ” (COM DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2017 A 01/01/2019 E RESPECTIVA MÉDIA CLIMÁTICA) PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCALIZADAS EM CLIMA Cwa, E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL) DO AJUSTE, DIFERENÇA DOS “ r ” LINEAR E QUADRÁTICO, E SELEÇÃO DO MODELO DE MELHOR AJUSTE.

Localidades	Intervalo	Modelo linear ⁽¹⁾			Modelo quadrático ⁽¹⁾			Diferença ⁽²⁾		Selecionado ⁽³⁾
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	
BambuÍ	Período	3.02E-02	-4.07E-08	0.70	-2.74E-15	-7.91E-08	-2.43E-02	0.75	0.05	Quadrático
	Primavera	3.60E-02	-3.94E-08	0.68	-2.49E-15	-7.79E-08	-2.68E-02	0.74	0.05	Quadrático
	Verão	1.40E-02	-5.80E-08	0.76	-3.91E-15	-1.04E-07	-4.38E-02	0.79	0.03	Linear
	Outono	9.64E-03	-4.94E-08	0.75	-4.43E-15	-9.26E-08	-3.13E-02	0.78	0.03	Linear
	Inverno	2.35E-02	-3.21E-08	0.73	-1.79E-15	-5.99E-08	-1.73E-02	0.76	0.03	Linear
Curvelo	Período	2.00E-02	-3.26E-08	0.65	-3.03E-15	-9.25E-08	-1.13E-01	0.68	0.04	Linear
	Primavera	3.97E-02	-2.84E-08	0.62	-1.16E-15	-5.32E-08	-3.05E-02	0.65	0.03	Linear
	Verão	1.12E-03	-4.27E-08	0.68	-1.93E-15	-7.37E-08	-6.83E-02	0.70	0.02	Linear
	Outono	-8.42E-03	-4.04E-08	0.69	-2.86E-15	-7.51E-08	-7.24E-02	0.72	0.03	Linear
	Inverno	7.01E-03	-2.90E-08	0.68	-1.30E-15	-5.51E-08	-6.78E-02	0.71	0.03	Linear
Divinópolis	Período	1.52E-03	-4.82E-08	0.69	-2.84E-16	-5.20E-08	-4.97E-03	0.69	0.00	Linear
	Primavera	6.46E-03	-4.25E-08	0.68	-3.57E-16	-4.78E-08	-3.75E-03	0.68	0.00	Linear
	Verão	-1.53E-02	-6.50E-08	0.74	-6.59E-16	-7.31E-08	-2.64E-02	0.75	0.00	Linear
	Outono	-2.13E-02	-5.76E-08	0.72	1.65E-15	-3.89E-08	6.49E-03	0.73	0.01	Linear
	Inverno	-6.92E-04	-4.06E-08	0.68	8.47E-16	-2.89E-08	1.89E-02	0.68	0.00	Linear
Florestal	Período	2.20E-02	-3.67E-08	0.71	-2.20E-15	-7.04E-08	-3.19E-02	0.76	0.05	Linear
	Primavera	2.00E-02	-3.53E-08	0.72	-1.92E-15	-6.84E-08	-4.06E-02	0.77	0.05	Linear
	Verão	2.68E-04	-4.99E-08	0.79	-3.32E-15	-9.29E-08	-5.89E-02	0.83	0.03	Linear
	Outono	9.69E-03	-4.27E-08	0.74	-3.30E-15	-7.99E-08	-3.34E-02	0.77	0.03	Linear
	Inverno	3.46E-02	-2.78E-08	0.66	-1.54E-15	-5.37E-08	-9.77E-03	0.69	0.04	Linear
Patos de Minas	Período	1.36E-02	-3.85E-08	0.62	-4.65E-16	-4.69E-08	-7.32E-03	0.62	0.00	Linear
	Primavera	2.34E-02	-4.06E-08	0.62	-2.56E-15	-7.75E-08	-4.80E-02	0.66	0.04	Linear
	Verão	-2.56E-03	-4.45E-08	0.64	-2.25E-15	-7.28E-08	-5.53E-02	0.65	0.01	Linear
	Outono	-3.82E-02	-4.24E-08	0.66	5.97E-16	-2.95E-08	2.71E-03	0.66	0.00	Linear
	Inverno	4.79E-02	-3.14E-08	0.54	-1.56E-15	-5.89E-08	-2.14E-02	0.57	0.03	Linear
Resende	Período	7.06E-03	-4.12E-08	0.73	-1.90E-15	-7.13E-08	-4.94E-02	0.76	0.04	Linear
	Primavera	1.59E-02	-3.72E-08	0.71	-1.67E-15	-6.83E-08	-5.43E-02	0.75	0.04	Linear
	Verão	-1.59E-02	-5.64E-08	0.79	-2.72E-15	-9.32E-08	-7.82E-02	0.81	0.02	Linear
	Outono	-1.67E-02	-4.94E-08	0.75	-2.46E-15	-7.55E-08	-5.27E-02	0.76	0.01	Linear
	Inverno	1.62E-02	-3.24E-08	0.72	-1.42E-15	-5.55E-08	-2.59E-02	0.75	0.03	Linear
São Carlos	Período	2.22E-02	-3.50E-08	0.64	-1.83E-15	-9.25E-08	-4.85E-02	0.68	0.04	Linear
	Primavera	2.80E-02	-3.58E-08	0.63	-1.85E-15	-6.60E-08	-3.87E-02	0.66	0.03	Linear
	Verão	-2.23E-02	-6.00E-08	0.73	-3.22E-15	-9.50E-08	-7.66E-02	0.74	0.01	Linear
	Outono	-2.40E-02	-4.61E-08	0.71	-2.26E-15	-7.20E-08	-6.73E-02	0.72	0.01	Linear
	Inverno	1.67E-02	-2.70E-08	0.67	-8.84E-16	-4.49E-08	-3.54E-02	0.69	0.02	Linear

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: TABELA A6.8 – COEFICIENTES DOS MODELOS MORETTI-JESRSZURKI-SILVA HORÁRIO (LINEAR E QUADRÁTICO), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO ASSOCIANDO “ Ψ_{ar} vs ET_{oASCE} ” (COM DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2017 A 01/01/2019 E RESPECTIVA MÉDIA CLIMÁTICA) PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCALIZADAS EM CLIMA Cwa , E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL) DO AJUSTE, DIFERENÇA DOS “ r ” LINEAR E QUADRÁTICO, E SELEÇÃO DO MODELO DE MELHOR AJUSTE.

Localidades	Intervalo	Modelo linear ⁽¹⁾			Modelo quadrático ⁽¹⁾			Diferença ⁽²⁾		Selecionado ⁽³⁾
		a	b	r	a	b	c	a	b	
Taubaté	Período	1.47E-02	-4.04E-08	0.71	-2.52E-15	-7.88E-08	-5.39E-02	0.76	0.05	Quadrático
	Primavera	1.70E-02	-3.97E-08	0.71	-2.58E-15	-8.33E-08	-7.07E-02	0.76	0.05	Quadrático
	Verão	-1.28E-02	-5.81E-08	0.78	-3.53E-15	-1.04E-07	-8.97E-02	0.81	0.03	Linear
	Outono	-1.02E-02	-4.83E-08	0.74	-3.74E-15	-8.78E-08	-6.37E-02	0.77	0.03	Linear
	Inverno	2.52E-02	-2.94E-08	0.70	-1.61E-15	-5.67E-08	-2.30E-02	0.75	0.05	Linear
Média clima Cwa	Período	1.66E-02	-3.74E-08	0.68	-1.99E-15	-7.54E-08	-5.07E-02	0.71	0.04	Linear
	Primavera	2.40E-02	-3.62E-08	0.67	-1.96E-15	-6.95E-08	-4.71E-02	0.71	0.04	Linear
	Verão	-8.70E-03	-5.19E-08	0.73	-2.83E-15	-8.85E-08	-7.12E-02	0.76	0.02	Linear
	Outono	-1.46E-02	-4.49E-08	0.71	-2.34E-15	-7.00E-08	-4.78E-02	0.73	0.02	Linear
	Inverno	2.46E-02	-2.95E-08	0.66	-1.38E-15	-5.42E-08	-3.05E-02	0.69	0.03	Linear

⁽¹⁾ Coeficientes dos modelos: Linear – “ a ” (mm h^{-1}) e “ b ” ($\text{mm h}^{-1} \text{MPa}^{-1}$); e, Quadrático – “ a ” ($\text{mm h}^{-1} \text{MPa}^{-2}$), “ b ” ($\text{mm h}^{-1} \text{MPa}^{-1}$) e “ c ” (mm h^{-1}). ⁽²⁾ Diferença dos “ r ” linear e quadrático em módulo; ⁽³⁾ Optou-se por selecionar o modelo quadrático somente quando o coeficiente de correlação ($r_{\text{quadrático}}$) da associação “ $ET_{oMJS}(\Psi_{ar})_{Q,h}$ vs ET_{oASCE} ” foi superior a 5% do r_{linear} da associação “ $ET_{oMJS}(\Psi_{ar})_{L,h}$ vs ET_{oASCE} ”.

TABELA A6.9 – COEFICIENTES DOS MODELOS MORETTI-JESRSZURKI-SILVA HORÁRIO (LINEAR E QUADRÁTICO), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO ASSOCIANDO “ Ψ_{ar} vs ET_{OASCE} ” (COM DADOS CLIMÁTICOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2017 A 01/01/2019 E RESPECTIVA MÉDIA CLIMÁTICA) PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS LOCALIZADAS EM CLIMA C_{wb} , E RESPECTIVOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL) DO AJUSTE, DIFERENÇA DOS “ r ” LINEAR E QUADRÁTICO, E SELEÇÃO DO MODELO DE MELHOR AJUSTE.

Localidades	Intervalo	Modelo linear ⁽¹⁾			Modelo quadrático ⁽¹⁾			Diferença ⁽²⁾		Selecionado ⁽³⁾
		a	b	r	a	b	c	a	b	
Araxá	Período	1.44E-02	-2.68E-08	0.63	-1.06E-15	-5.14E-08	-6.67E-02	0.66	0.03	Linear
	Primavera	3.97E-02	-2.13E-08	0.58	-6.69E-16	-3.91E-08	-2.21E-02	0.61	0.02	Linear
	Verão	8.35E-03	-3.80E-08	0.68	-1.94E-15	-7.59E-08	-9.12E-02	0.72	0.04	Linear
	Outono	-2.56E-02	-3.31E-08	0.69	-1.54E-15	-6.21E-08	-1.06E-01	0.72	0.02	Linear
	Inverno	-2.94E-02	-2.65E-08	0.67	-7.59E-16	-4.51E-08	-1.01E-01	0.69	0.01	Linear
Diamantina	Período	2.21E-02	-4.75E-08	0.67	-2.73E-15	-8.12E-08	-3.06E-02	0.70	0.03	Linear
	Primavera	3.55E-02	-4.02E-08	0.63	-2.12E-15	-6.94E-08	-1.18E-02	0.66	0.03	Linear
	Verão	7.12E-03	-5.79E-08	0.70	-3.21E-15	-9.60E-08	-5.49E-02	0.73	0.03	Linear
	Outono	1.42E-03	-6.00E-08	0.71	-4.31E-15	-9.72E-08	-4.12E-02	0.73	0.02	Linear
	Inverno	1.86E-02	-4.38E-08	0.68	-2.44E-15	-7.45E-08	-3.15E-02	0.71	0.03	Linear
Ibirité	Período	1.05E-03	-4.76E-08	0.67	-2.16E-15	-7.65E-08	-1.13E-01	0.69	0.02	Linear
	Primavera	2.17E-02	-4.37E-08	0.67	-1.94E-15	-7.14E-08	-3.39E-02	0.69	0.02	Linear
	Verão	-1.37E-02	-5.84E-08	0.69	-1.77E-15	-7.89E-08	-5.23E-02	0.69	0.01	Linear
	Outono	-3.27E-02	-5.77E-08	0.70	-3.48E-15	-9.50E-08	-1.02E-01	0.72	0.02	Linear
	Inverno	-1.01E-02	-4.29E-08	0.70	-1.73E-15	-6.80E-08	-6.87E-02	0.72	0.01	Linear
Mocambinho	Período	1.33E-02	-2.68E-08	0.63	-1.03E-15	-5.09E-08	-6.60E-02	0.66	0.03	Linear
	Primavera	3.78E-02	-2.16E-08	0.59	-6.54E-16	-3.90E-08	-2.26E-02	0.62	0.02	Linear
	Verão	7.61E-03	-3.78E-08	0.68	-1.91E-15	-7.51E-08	-9.04E-02	0.73	0.04	Linear
	Outono	-2.58E-02	-3.29E-08	0.70	-1.52E-15	-6.15E-08	-1.05E-01	0.72	0.02	Linear
	Inverno	-2.96E-02	-2.64E-08	0.68	-7.48E-16	-4.48E-08	-1.00E-01	0.69	0.01	Linear
Média clima C_{wb}	Período	1.21E-02	-4.06E-08	0.66	-1.98E-15	-6.96E-08	-7.00E-02	0.69	0.03	Linear
	Primavera	3.17E-02	-3.52E-08	0.63	-1.57E-15	-5.99E-08	-2.28E-02	0.66	0.02	Linear
	Verão	3.28E-04	-5.14E-08	0.69	-2.30E-15	-8.33E-08	-6.59E-02	0.72	0.03	Linear
	Outono	-1.90E-02	-5.02E-08	0.70	-3.10E-15	-8.46E-08	-8.28E-02	0.72	0.02	Linear
	Inverno	-7.03E-03	-3.77E-08	0.69	-1.64E-15	-6.24E-08	-6.68E-02	0.71	0.02	Linear

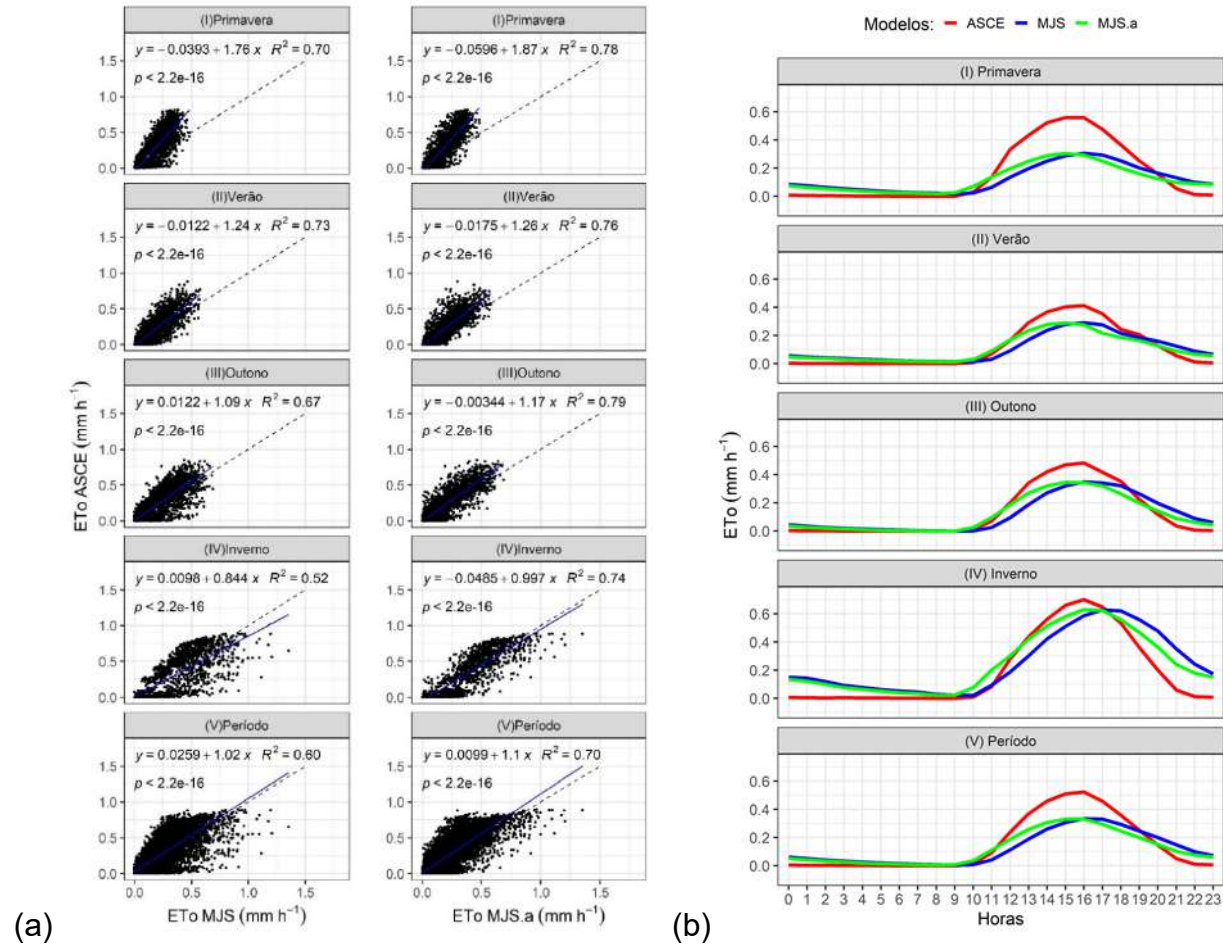
⁽¹⁾ Coeficientes dos modelos: Linear – “ a ” (mm h⁻¹) e “ b ” (mm h⁻¹ MPa⁻¹); e, Quadrático – “ a ” (mm h⁻¹ MPa⁻²), “ b ” (mm h⁻¹ MPa⁻¹) e “ c ” (mm h⁻¹). ⁽²⁾ Diferença dos “ r ” linear e quadrático em módulo; ⁽³⁾ Optou-se por selecionar o modelo quadrático somente quando o coeficiente de correlação ($r_{quadrático}$) da associação “ $ET_{O_{MJS}(\Psi_{ar})_{Q,h}$ vs $ET_{O_{ASCE}}$ ” foi superior a 5% do r_{linear} da associação “ $ET_{O_{MJS}(\Psi_{ar})_{L,h}$ vs $ET_{O_{ASCE}}$ ”.

APÊNDICE 7 – INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NA VALIDAÇÃO, DAS ASSOCIAÇÕES ENTRE ET_o HORÁRIAS (ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020) DE LOCALIDADES DOS CLIMAS BRASILEIROS (Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa E Cwb), ESTIMADAS COM OS MODELOS $ASCE-PM$ (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURKI-SILVA, ANTES E APÓS AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE): RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO ($RMSE$; mm h^{-1}); COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL); E, EFICIÊNCIA DE NASH-SUTCLIFFE (NSE ; ADIMENSIONAL)

TABELA A7.1 – INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NA VALIDAÇÃO, DAS ASSOCIAÇÕES ENTRE ET_0 HORÁRIAS (ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020) DAS LOCALIDADES DO CLIMA Af, ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE-PM (ET_{0ASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURKI-SILVA, ANTES E APÓS AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{0MJS} E $ET_{0MJS,a}$, RESPECTIVAMENTE): RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (RMSE; mm h⁻¹); COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (“r”; ADIMENSIONAL); E, EFICIÊNCIA DE NASH-SUTCLIFFE (NSE; ADIMENSIONAL).

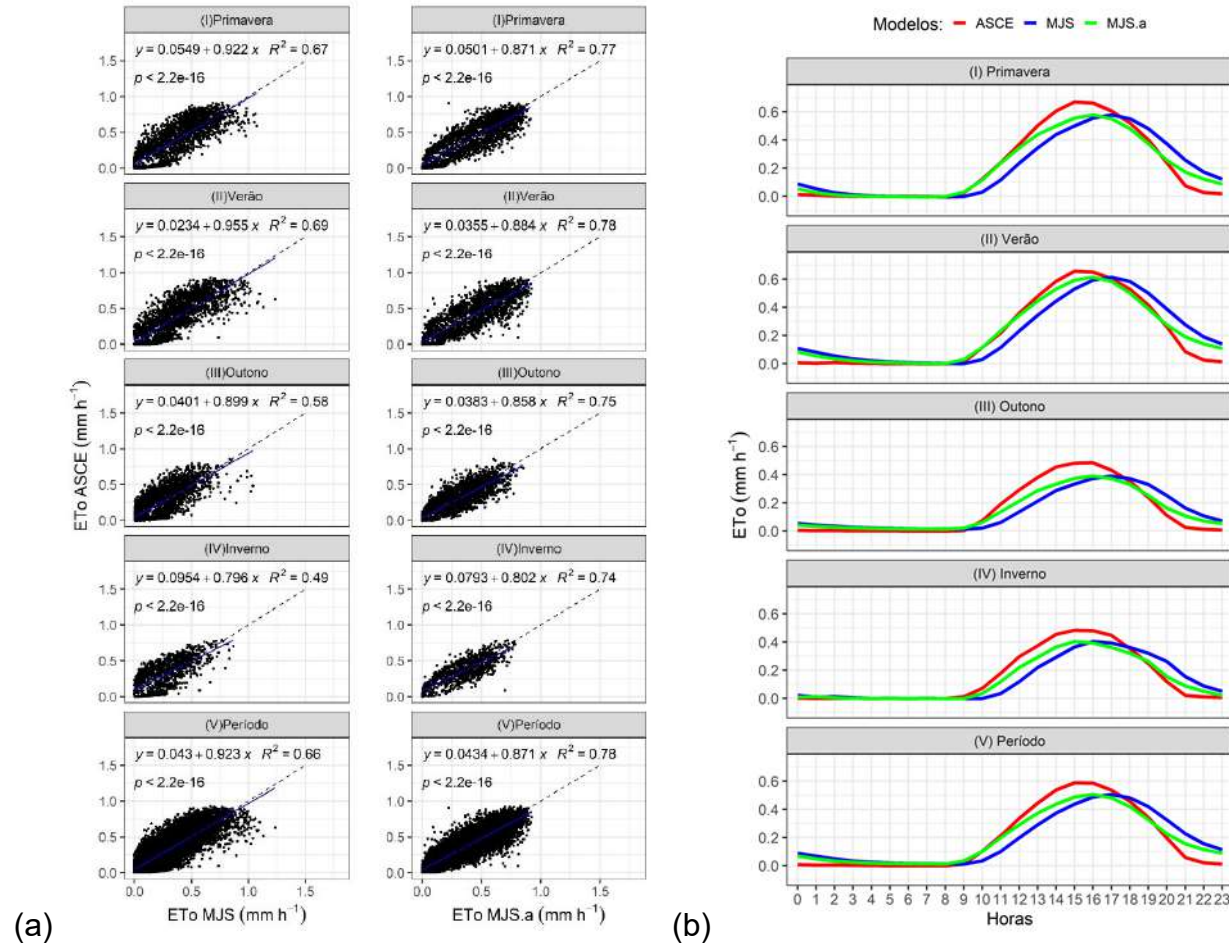
Localidades	Intervalo	Modelo	----- ET_{0ASCE} vs ET_{0MJS} -----			Ajuste	----- ET_{0ASCE} vs $ET_{0MJS,a}$ -----		
			Antes do ajuste				Após ajuste		
			r	RMSE	NSE	Horas	r	RMSE	NSE
Belém	Primavera	Linear	0.86	0.17	-1.11	1	0.90	0.16	-0.95
	Verão	Linear	0.88	0.10	0.54	1	0.88	0.09	0.62
	Outono	Linear	0.86	0.11	0.53	1	0.91	0.09	0.67
	Inverno	Linear	0.75	0.20	0.36	1	0.87	0.15	0.64
	Período	Linear	0.81	0.13	0.39	1	0.86	0.12	0.52
Cruz das Almas	Primavera	Linear	0.87	0.14	0.70	1	0.91	0.12	0.83
	Verão	Linear	0.88	0.13	0.74	1	0.91	0.11	0.83
	Outono	Linear	0.81	0.12	0.51	1	0.90	0.09	0.80
	Inverno	Linear	0.76	0.15	0.38	1	0.89	0.10	0.78
	Período	Linear	0.86	0.13	0.66	1	0.91	0.11	0.82
Cruzeiro do Sul	Primavera	Linear	0.82	0.13	0.46	1	0.88	0.11	0.60
	Verão	Linear	0.84	0.11	0.64	1	0.90	0.09	0.77
	Outono	Linear	0.83	0.12	0.63	1	0.90	0.09	0.79
	Inverno	Linear	0.74	0.16	0.25	1	0.81	0.14	0.44
	Período	Linear	0.81	0.13	0.54	1	0.87	0.11	0.69
Itacoatiara	Primavera	Linear	0.73	0.14	0.12	2	0.85	0.11	0.46
	Verão	Linear	0.77	0.13	0.46	2	0.83	0.12	0.60
	Outono	Linear	0.79	0.12	0.36	2	0.87	0.09	0.57
	Inverno	Linear	0.75	0.14	0.22	2	0.89	0.10	0.59
	Período	Linear	0.76	0.13	0.33	2	0.86	0.11	0.57
Salvador	Primavera	Linear	0.78	0.19	0.61	1	0.79	0.19	0.62
	Verão	Linear	0.79	0.21	0.58	1	0.83	0.19	0.64
	Outono	Linear	0.68	0.17	0.15	1	0.75	0.16	0.29
	Inverno	Linear	0.69	0.17	0.20	1	0.75	0.16	0.35
	Período	Linear	0.76	0.19	0.52	1	0.79	0.18	0.58
Média clima Af	Primavera	Linear	0.81	0.15	0.16	1	0.87	0.14	0.31
	Verão	Linear	0.83	0.14	0.59	1	0.87	0.12	0.69
	Outono	Linear	0.79	0.13	0.44	1	0.87	0.10	0.62
	Inverno	Linear	0.74	0.16	0.28	1	0.84	0.13	0.56
	Período	Linear	0.80	0.14	0.49	1	0.86	0.13	0.64

FIGURA A7.1 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BELÉM (CLIMA Af, DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



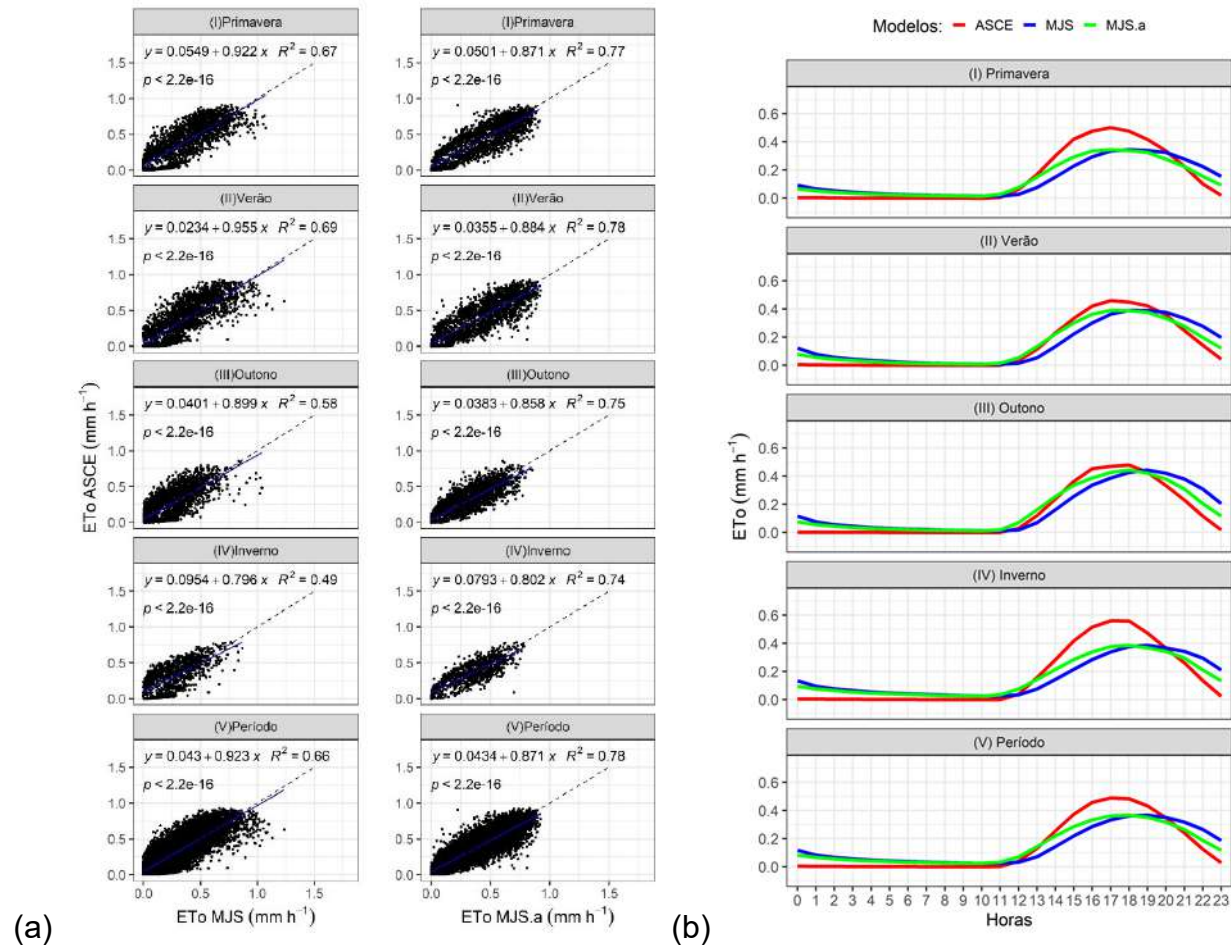
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.2 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE CRUZ DAS ALMAS (CLIMA Af; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



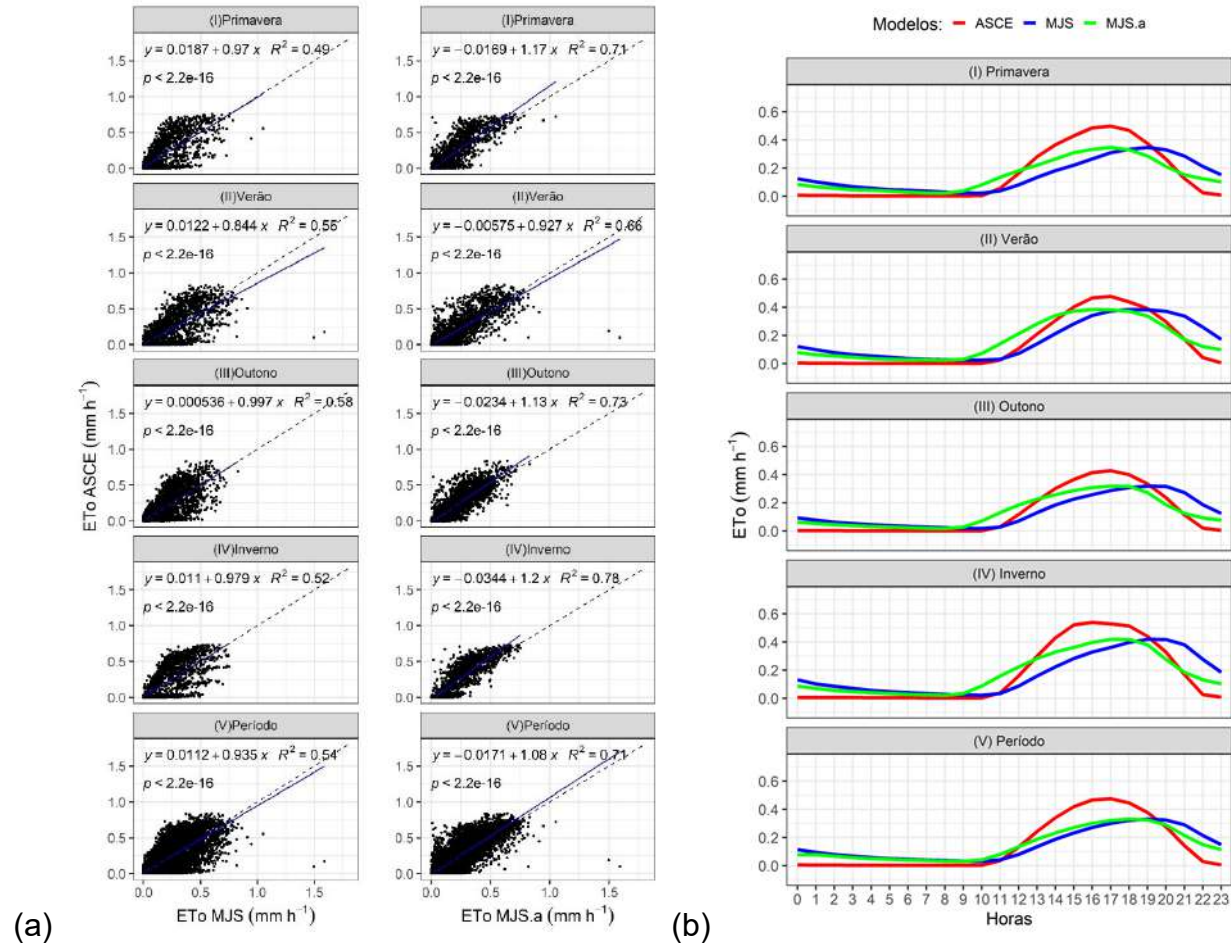
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.3 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE CRUZEIRO DO SUL (CLIMA Af; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



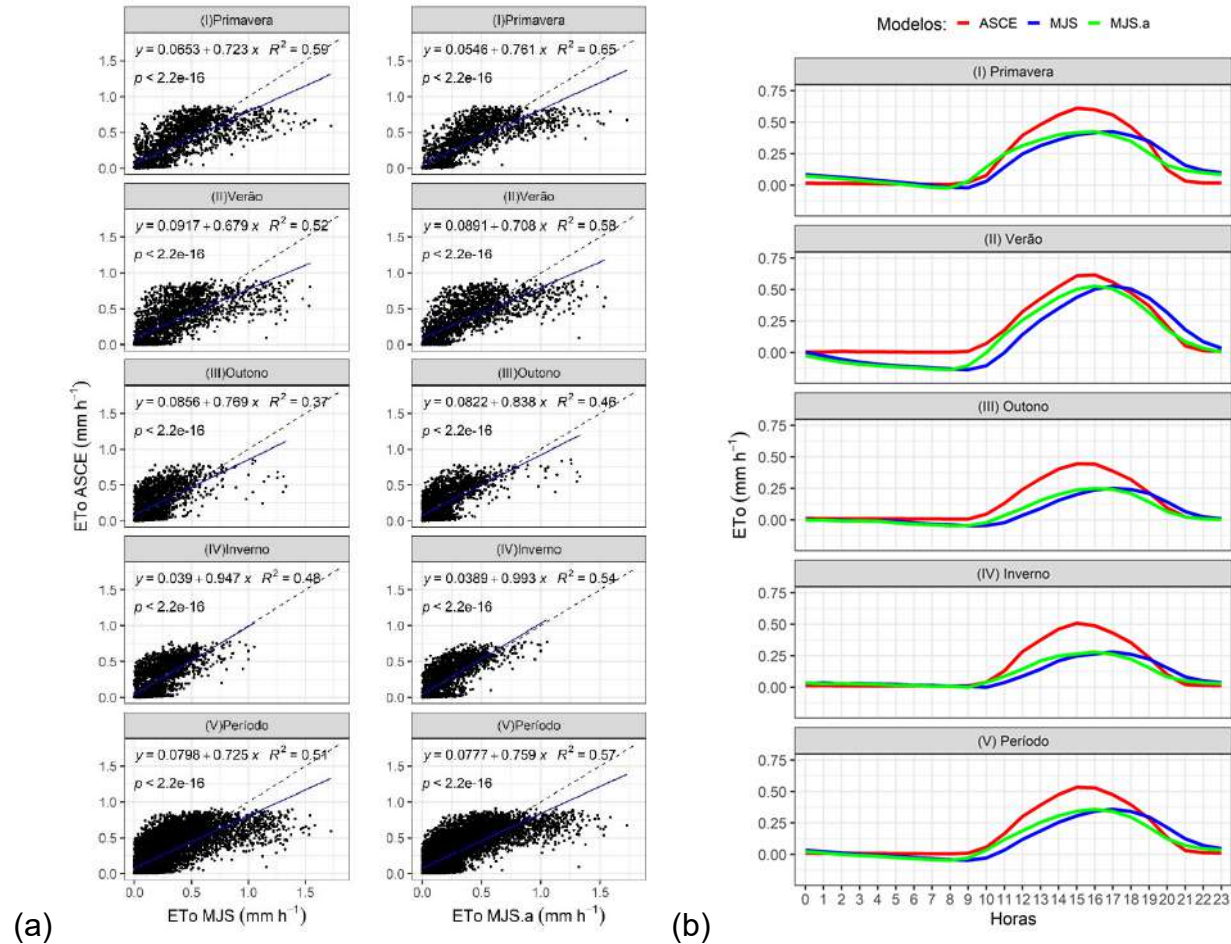
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.4 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE ITACOATIARA (CLIMA Af; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.5 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE SALVADOR (CLIMA Af, DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).

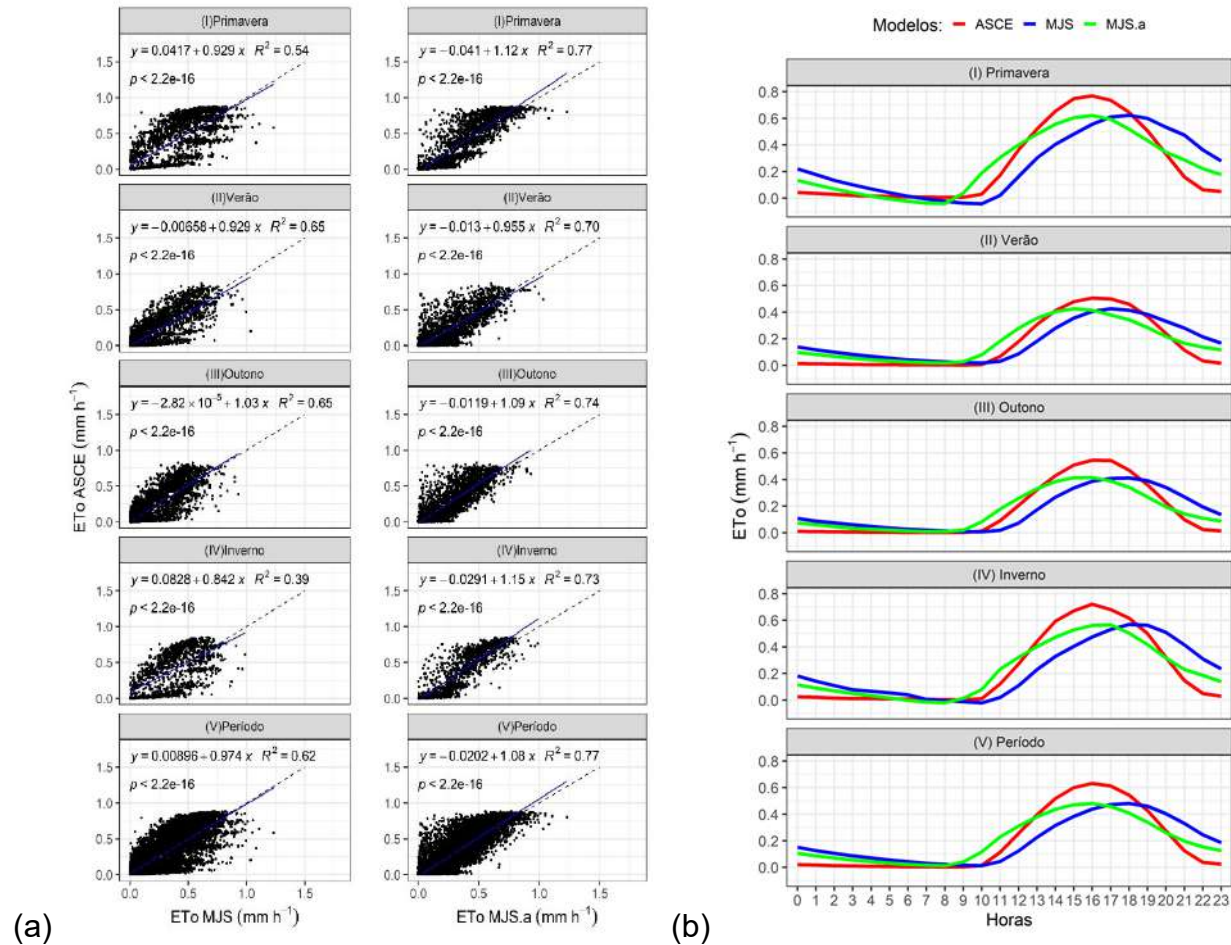


Fonte: O autor (2024).

TABELA 7.2 – INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NA VALIDAÇÃO, DAS ASSOCIAÇÕES ENTRE ET_o HORÁRIAS (ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020) DAS LOCALIDADES DO CLIMA Am , ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE-PM (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURKI-SILVA, ANTES E APÓS AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS,a}$, RESPECTIVAMENTE): RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO ($RMSE$; $mm\ h^{-1}$); COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (" r "; ADIMENSIONAL); E, EFICIÊNCIA DE NASH-SUTCLIFFE (NSE ; ADIMENSIONAL).

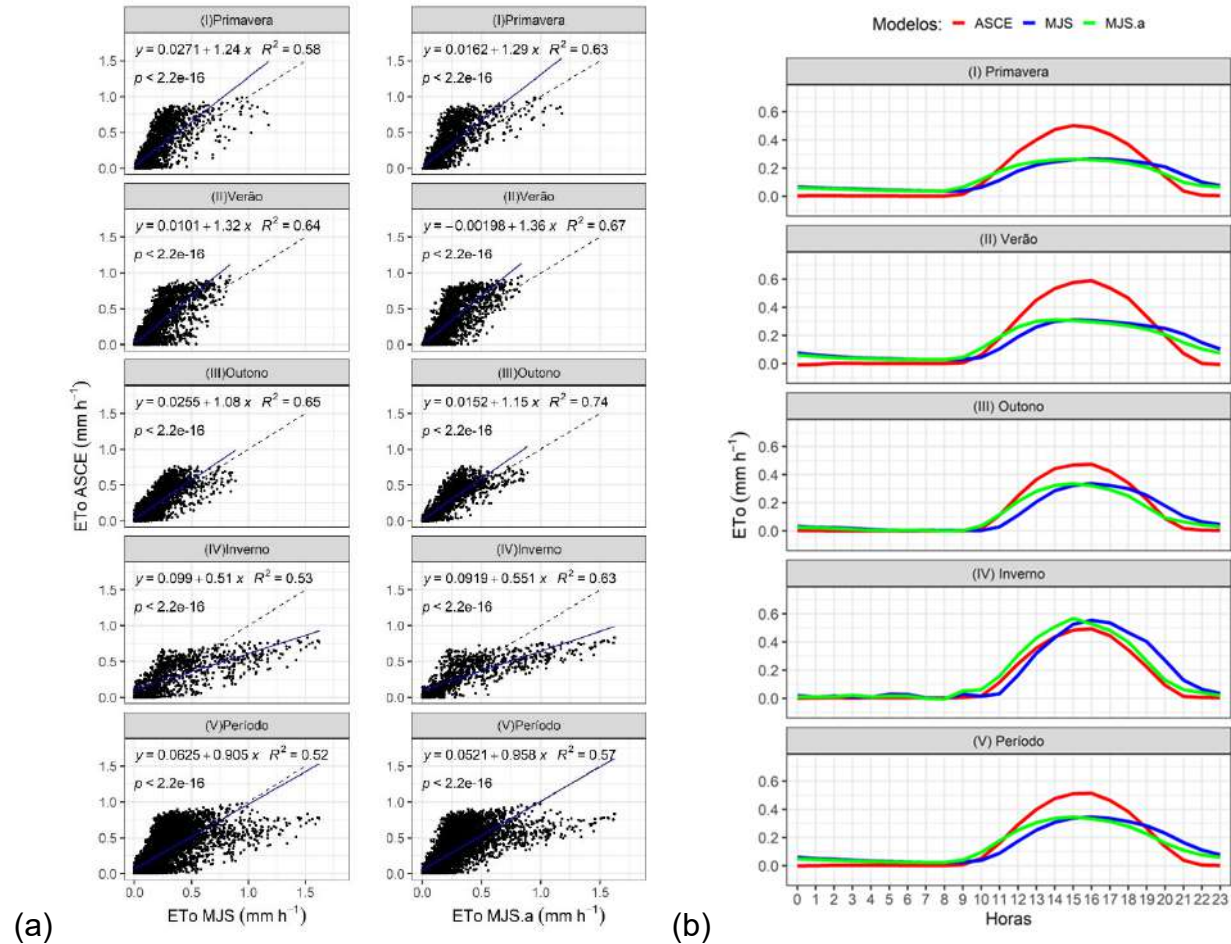
Localidades	Intervalo	Modelo	--- ET_{oASCE} vs ET_{oMJS} ---			Ajuste	--- ET_{oASCE} vs $ET_{oMJS,a}$ ---		
			Antes do ajuste				Após ajuste		
			R	$RMSE$	NSE	Horas	r	$RMSE$	NSE
Macapá	Primavera	Linear	0.78	0.20	0.47	2	0.89	0.14	0.72
	Verão	Linear	0.83	0.13	0.60	2	0.83	0.13	0.61
	Outono	Linear	0.81	0.14	0.45	2	0.86	0.12	0.58
	Inverno	Linear	0.67	0.21	0.07	2	0.87	0.15	0.56
	Período	Linear	0.80	0.16	0.49	2	0.88	0.13	0.67
Rio de Janeiro	Primavera	Linear	0.79	0.17	0.07	1	0.81	0.16	0.15
	Verão	Linear	0.81	0.15	0.30	1	0.84	0.15	0.38
	Outono	Linear	0.85	0.12	0.43	1	0.88	0.11	0.53
	Inverno	Linear	0.78	0.16	0.59	1	0.83	0.14	0.68
	Período	Linear	0.80	0.15	0.35	1	0.83	0.14	0.44
Vitória da Conquista	Primavera	Linear	0.88	0.13	0.75	0	0.88	0.13	0.75
	Verão	Linear	0.89	0.13	0.73	0	0.89	0.13	0.73
	Outono	Linear	0.83	0.13	0.50	0	0.83	0.13	0.50
	Inverno	Linear	0.87	0.13	0.62	0	0.87	0.13	0.62
	Período	Linear	0.87	0.13	0.70	0	0.87	0.13	0.70
Média clima Am	Primavera	Linear	0.82	0.17	0.43	1	0.86	0.14	0.54
	Verão	Linear	0.84	0.14	0.54	1	0.85	0.14	0.57
	Outono	Linear	0.83	0.13	0.46	1	0.86	0.12	0.54
	Inverno	Linear	0.77	0.17	0.43	1	0.86	0.14	0.62
	Período	Linear	0.82	0.15	0.51	1	0.86	0.13	0.60

FIGURA A7.6 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE MACAPÁ (CLIMA *Am*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO:
a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



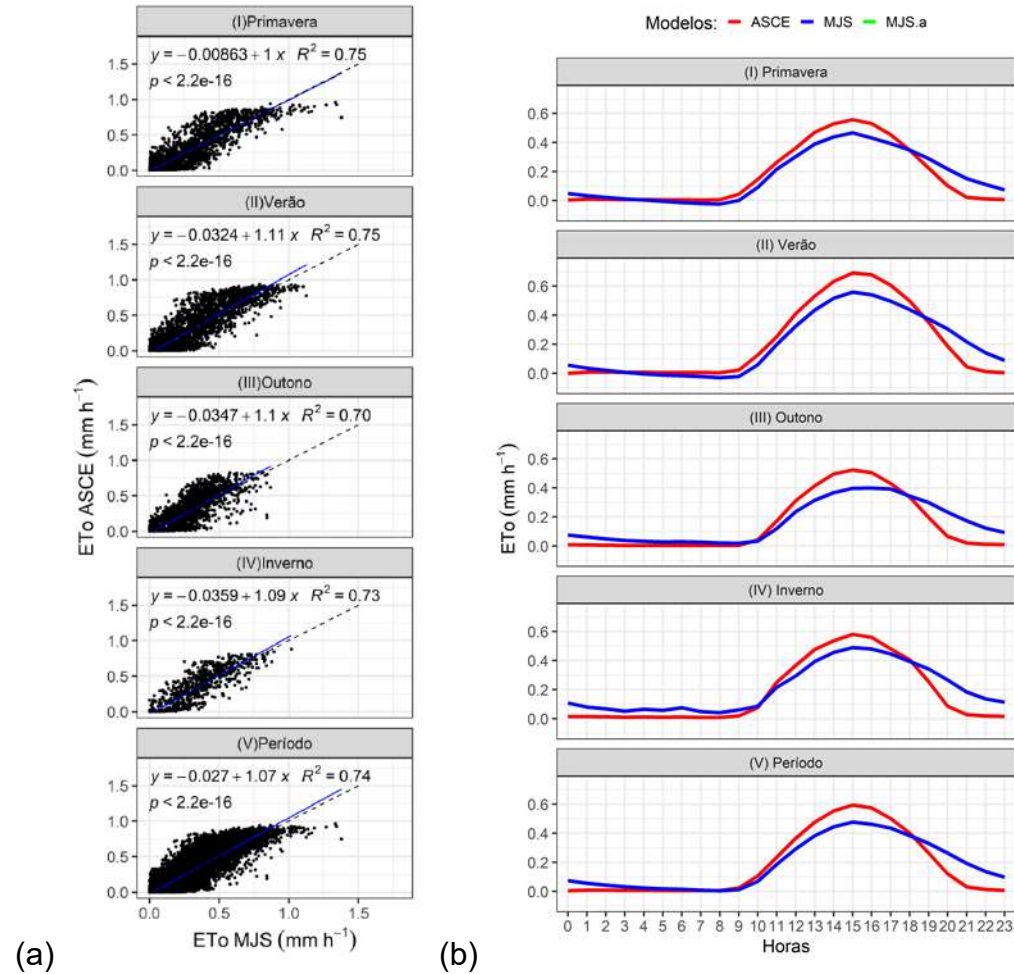
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.7 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO RIO DE JANEIRO (CLIMA *Am*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (*MJS*) E APÓS AJUSTE (*MJS.a*).



Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.8 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE VITÓRIA (CLIMA *Am*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO:
a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



Fonte: O autor (2024).

TABELA A7.3 – INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NA VALIDAÇÃO, DAS ASSOCIAÇÕES ENTRE ET_0 HORÁRIAS (ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020) DAS LOCALIDADES DO CLIMA As , ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE-PM (ET_{0ASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURKI-SILVA, ANTES E APÓS AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{0MJS} E $ET_{0MJS,a}$, RESPECTIVAMENTE): RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (RMSE; mm h⁻¹); COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL); E, EFICIÊNCIA DE NASH-SUTCLIFFE (NSE; ADIMENSIONAL).

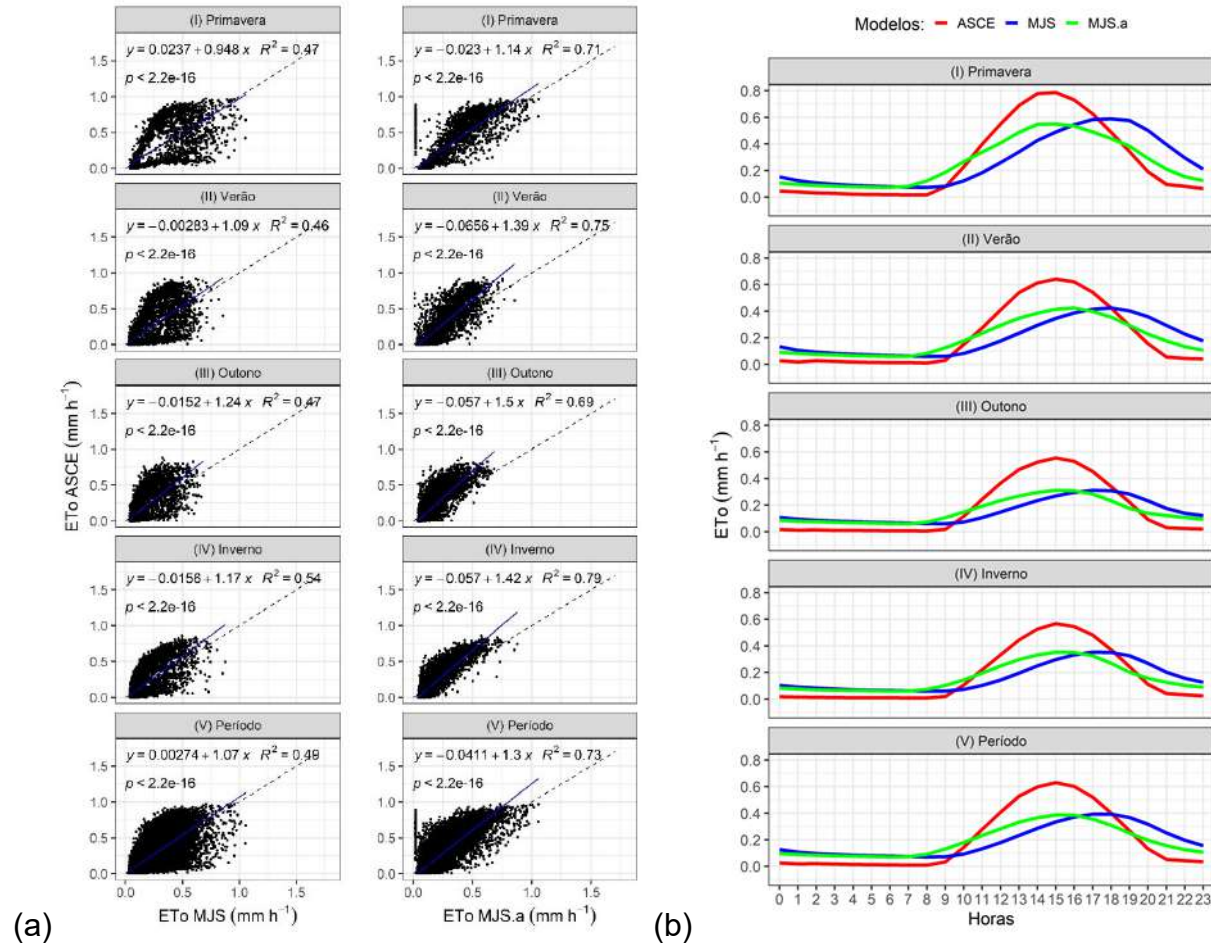
Localidades	Intervalo	Modelo	--- ET_{0ASCE} Vs ET_{0MJS} ---			Ajuste	--- ET_{0ASCE} Vs $ET_{0MJS,a}$ ---		
			Antes do ajuste				Após ajuste		
			r	RMSE	NSE		Horas	r	RMSE
Arcoverde	Período	Linear	0.71	0.17	-0.16	2	0.86	0.14	0.29
	Primavera	Linear	0.69	0.21	0.00	2	0.84	0.16	0.46
	Verão	Linear	0.70	0.18	-0.28	2	0.87	0.14	0.21
	Outono	Linear	0.69	0.16	-0.80	2	0.83	0.14	-0.29
	Inverno	Linear	0.74	0.15	-0.18	2	0.89	0.11	0.30
Areia	Período	Linear	0.66	0.15	0.19	1	0.71	0.14	0.29
	Primavera	Linear	0.66	0.17	0.10	1	0.71	0.16	0.21
	Verão	Linear	0.80	0.12	0.58	1	0.87	0.10	0.72
	Outono	Linear	0.50	0.16	-0.21	1	0.53	0.15	-0.13
	Inverno	Linear	0.53	0.13	-0.39	1	0.55	0.12	-0.33
Barbalha	Período	Linear	0.57	0.24	-0.94	2	0.79	0.19	-0.20
	Primavera	Linear	0.44	0.30	-2.06	2	0.76	0.23	-0.90
	Verão	Linear	0.61	0.23	-2.83	2	0.78	0.20	-2.00
	Outono	Linear	0.67	0.20	-0.01	2	0.84	0.15	0.44
	Inverno	Linear	0.48	0.27	-0.72	2	0.81	0.18	0.22
Bom Jesus	Período	Linear	0.54	0.24	-2.59	2	0.73	0.21	-1.79
	Primavera	Linear	0.50	0.27	-4.12	2	0.68	0.24	-3.11
	Verão	Linear	0.56	0.25	-3.57	2	0.70	0.23	-2.91
	Outono	Linear	0.56	0.22	-4.24	2	0.75	0.20	-3.18
	Inverno	Linear	0.60	0.21	-1.57	2	0.83	0.17	-0.65
Campina Grande	Período	Linear	0.81	0.14	0.49	2	0.91	0.10	0.74
	Primavera	Linear	0.84	0.18	0.60	2	0.95	0.09	0.86
	Verão	Linear	0.80	0.15	0.50	2	0.91	0.11	0.74
	Outono	Linear	0.79	0.14	0.45	2	0.88	0.11	0.68
	Inverno	Linear	0.77	0.14	0.24	2	0.89	0.11	0.55
Crateus	Período	Linear	0.59	0.23	-1.82	2	0.79	0.20	-0.97
	Primavera	Linear	0.50	0.26	-3.14	2	0.81	0.21	-1.69
	Verão	Linear	0.59	0.22	-1.77	2	0.73	0.19	-1.19
	Outono	Linear	0.71	0.19	-1.70	2	0.84	0.17	-1.17
	Inverno	Linear	0.59	0.26	-2.17	2	0.84	0.21	-1.02
Feira de Santana	Período	Linear	0.81	0.14	0.41	2	0.90	0.11	0.64
	Primavera	Linear	0.82	0.16	0.51	2	0.91	0.12	0.73
	Verão	Linear	0.82	0.15	0.46	2	0.91	0.12	0.68
	Outono	Linear	0.79	0.13	0.22	2	0.87	0.11	0.47
	Inverno	Linear	0.80	0.13	0.16	2	0.90	0.10	0.46
Fortaleza	Período	Linear	0.91	0.09	0.78	1	0.91	0.09	0.80
	Primavera	Linear	0.94	0.08	0.87	1	0.94	0.08	0.87
	Verão	Linear	0.84	0.12	0.62	0	0.84	0.12	0.62
	Outono	Linear	0.87	0.09	0.66	1	0.92	0.07	0.79
	Inverno	Linear	0.93	0.80	0.80	1	0.93	0.08	0.82
Itiruçu	Período	Quadrático	0.75	0.17	0.01	2	0.83	0.15	0.06
	Primavera	Linear	0.69	0.18	0.06	2	0.72	0.18	0.12
	Verão	Linear	0.70	0.18	-0.03	2	0.76	0.16	0.13
	Outono	Quadrático	0.77	0.17	-0.79	2	0.86	0.16	-0.46
	Inverno	Quadrático	0.79	0.16	0.06	2	0.88	0.13	0.33
Janaúba	Período	Linear	0.68	0.21	-0.28	2	0.75	0.19	-0.04
	Primavera	Linear	0.64	0.24	-0.65	2	0.67	0.23	-0.47
	Verão	Linear	0.69	0.22	-0.08	2	0.79	0.19	0.22
	Outono	Linear	0.70	0.18	-0.36	2	0.82	0.15	0.04
	Inverno	Linear	0.69	0.21	-0.57	2	0.70	0.21	0.44
João Pessoa	Período	Linear	0.78	0.16	0.54	1	0.79	0.15	0.57
	Primavera	Linear	0.83	0.18	0.61	1	0.83	0.18	0.61
	Verão	Linear	0.78	0.16	0.27	1	0.79	0.16	0.59
	Outono	Linear	0.78	0.14	0.37	1	0.82	0.13	0.46
	Inverno	Linear	0.76	0.15	0.42	1	0.78	0.15	0.46

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: TABELA A7.3 – INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NA VALIDAÇÃO, DAS ASSOCIAÇÕES ENTRE ET_0 HORÁRIAS (ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020) DAS LOCALIDADES DO CLIMA As , ESTIMADAS COM OS MODELOS $ASCE-PM$ (ET_{ASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURKI-SILVA, ANTES E APÓS AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{MJS} E $ET_{MJS,a}$, RESPECTIVAMENTE): RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO ($RMSE$; mm h^{-1}); COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (" r "; ADIMENSIONAL); E, EFICIÊNCIA DE NASH-SUTCLIFFE (NSE ; ADIMENSIONAL).

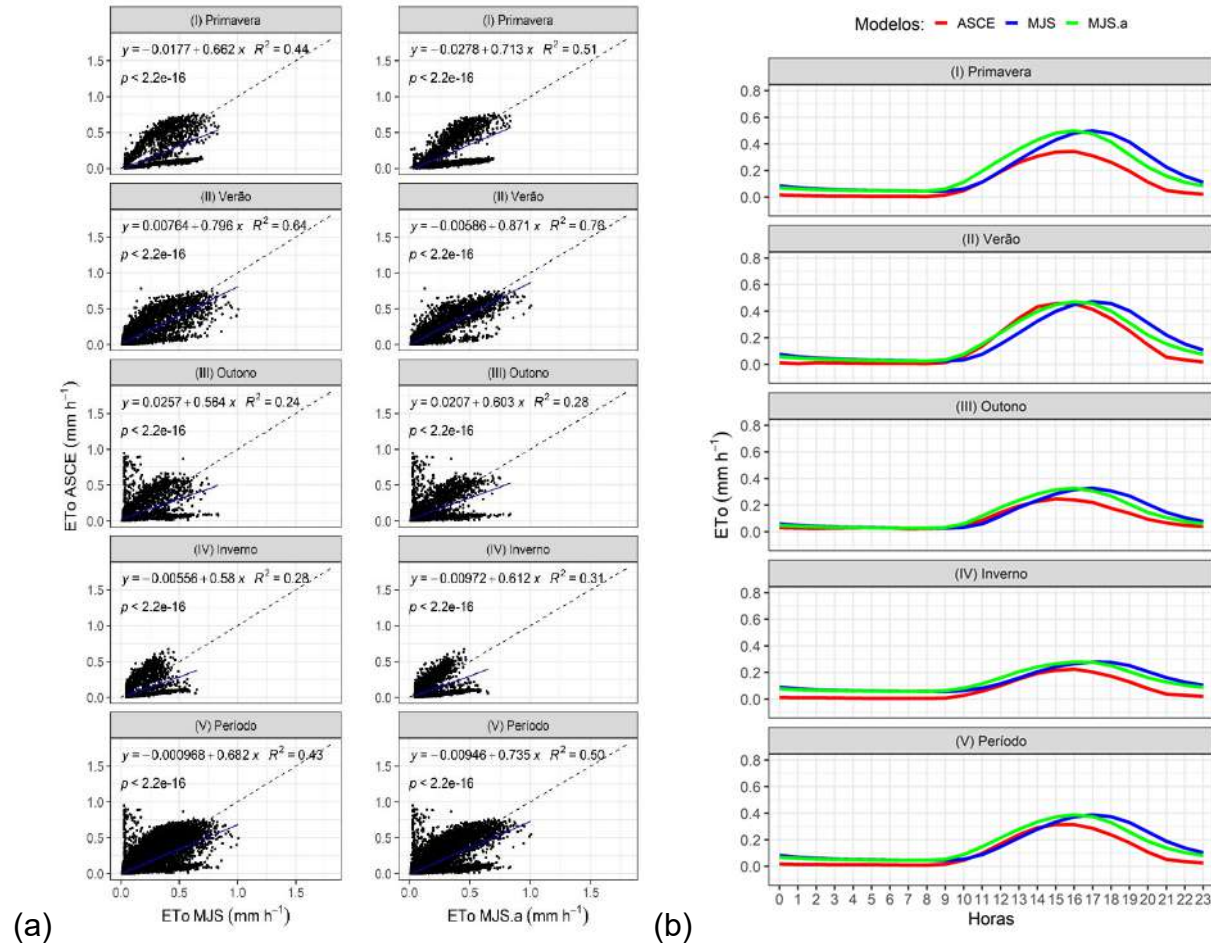
Localidades	Intervalo	Modelo	--- ET_{ASCE} vs ET_{MJS} ---			Ajuste	--- ET_{ASCE} vs $ET_{MJS,a}$ ---			
			Antes do ajuste				Horas	Após ajuste		
			r	$RMSE$	NSE			r	$RMSE$	NSE
Montes Claros	Período	Linear	0.61	0.21	-0.60	2	0.81	0.16	0.01	
	Primavera	Linear	0.55	0.24	-1.18	2	0.73	0.20	-0.54	
	Verão	Linear	0.65	0.22	-0.58	2	0.82	0.17	0.00	
	Outono	Linear	0.66	0.17	-0.41	2	0.86	0.13	0.20	
	Inverno	Linear	0.61	0.21	-0.42	2	0.84	0.15	0.26	
Morada	Período	Linear	0.77	0.17	0.42	2	0.88	0.12	0.70	
	Primavera	Linear	0.83	0.17	0.63	2	0.93	0.12	0.83	
	Verão	Linear	0.73	0.17	0.04	2	0.82	0.14	0.32	
	Outono	Linear	0.73	0.16	-0.13	2	0.89	0.13	0.35	
	Inverno	Linear	0.77	0.17	0.42	2	0.93	0.10	0.80	
Natal	Período	Linear	0.77	0.16	0.34	1	0.80	0.15	0.44	
	Primavera	Linear	0.80	0.16	0.40	1	0.81	0.16	0.47	
	Verão	Quadrático	0.79	0.15	0.48	1	0.82	0.14	0.55	
	Outono	Linear	0.73	0.16	0.18	1	0.78	0.14	0.31	
	Inverno	Linear	0.76	0.15	0.26	1	0.81	0.14	0.39	
Palmeira dos Índios	Período	Linear	0.72	0.19	0.36	2	0.81	0.15	0.56	
	Primavera	Linear	0.81	0.18	0.56	2	0.91	0.12	0.79	
	Verão	Linear	0.82	0.16	0.42	2	0.89	0.14	0.60	
	Outono	Linear	0.51	0.23	-0.04	2	0.63	0.19	0.09	
	Inverno	Linear	0.57	0.18	0.04	2	0.66	0.16	0.09	
Salinas	Período	Linear	0.64	0.21	-0.15	2	0.83	0.16	0.39	
	Primavera	Linear	0.53	0.26	-0.77	2	0.74	0.21	-0.09	
	Verão	Linear	0.66	0.23	0.13	2	0.85	0.16	0.59	
	Outono	Linear	0.68	0.16	-0.42	2	0.87	0.12	0.19	
	Inverno	Linear	0.60	0.20	-0.48	2	0.88	0.13	0.38	
São Gonçalo	Período	Linear	0.63	0.23	-0.85	2	0.83	0.18	-0.13	
	Primavera	Linear	0.54	0.27	-1.51	2	0.84	0.20	-0.37	
	Verão	Linear	0.58	0.22	-1.60	2	0.76	0.19	-0.85	
	Outono	Linear	0.75	0.18	0.43	2	0.89	0.15	0.02	
	Inverno	Linear	0.63	0.22	-0.75	2	0.86	0.17	0.01	
Senhor do Bonfim	Período	Linear	0.66	0.16	-0.38	2	0.84	0.12	0.20	
	Primavera	Linear	0.64	0.18	-0.29	2	0.86	0.13	0.37	
	Verão	Linear	0.61	0.18	-0.92	2	0.83	0.13	-0.14	
	Outono	Linear	0.66	0.13	-0.92	2	0.81	0.11	-0.37	
	Inverno	Linear	0.72	0.13	-0.53	2	0.89	0.10	0.06	
Serrinha	Período	Linear	0.74	0.15	0.24	2	0.90	0.11	0.61	
	Primavera	Linear	0.79	0.16	0.43	2	0.93	0.10	0.77	
	Verão	Linear	0.75	0.17	0.20	2	0.91	0.11	0.64	
	Outono	Linear	0.75	0.13	-0.22	2	0.87	0.11	0.18	
	Inverno	Linear	0.76	0.13	-0.20	2	0.90	0.10	0.26	
Surubim	Período	Linear	0.84	0.15	0.61	1	0.90	0.12	0.73	
	Primavera	Linear	0.89	0.14	0.75	1	0.92	0.13	0.81	
	Verão	Linear	0.85	0.14	0.61	1	0.92	0.11	0.77	
	Outono	Linear	0.80	0.15	0.49	1	0.88	0.12	0.68	
	Inverno	Linear	0.83	0.15	0.33	1	0.88	0.13	0.48	
Média clima As	Período	Linear	0.71	0.18	-0.17	2	0.83	0.15	0.19	
	Primavera	Linear	0.70	0.20	-0.43	2	0.82	0.16	0.01	
	Verão	Linear	0.72	0.18	-0.37	2	0.83	0.15	0.00	
	Outono	Linear	0.71	0.16	-0.35	2	0.82	0.14	-0.02	
	Inverno	Linear	0.69	0.21	-0.27	2	0.83	0.14	0.21	

FIGURA A7.9 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE ARCOVERDE (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



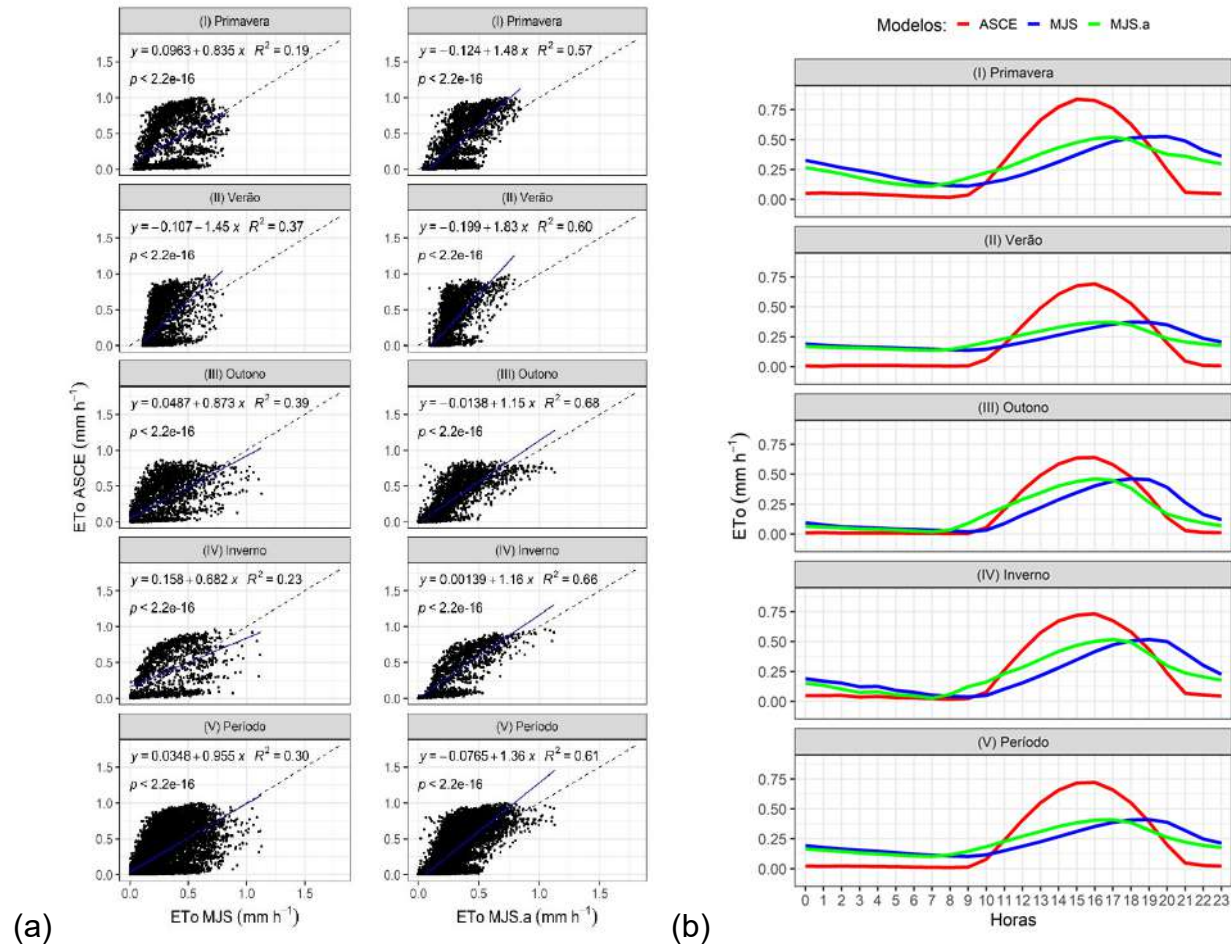
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.10 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE AREIA (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



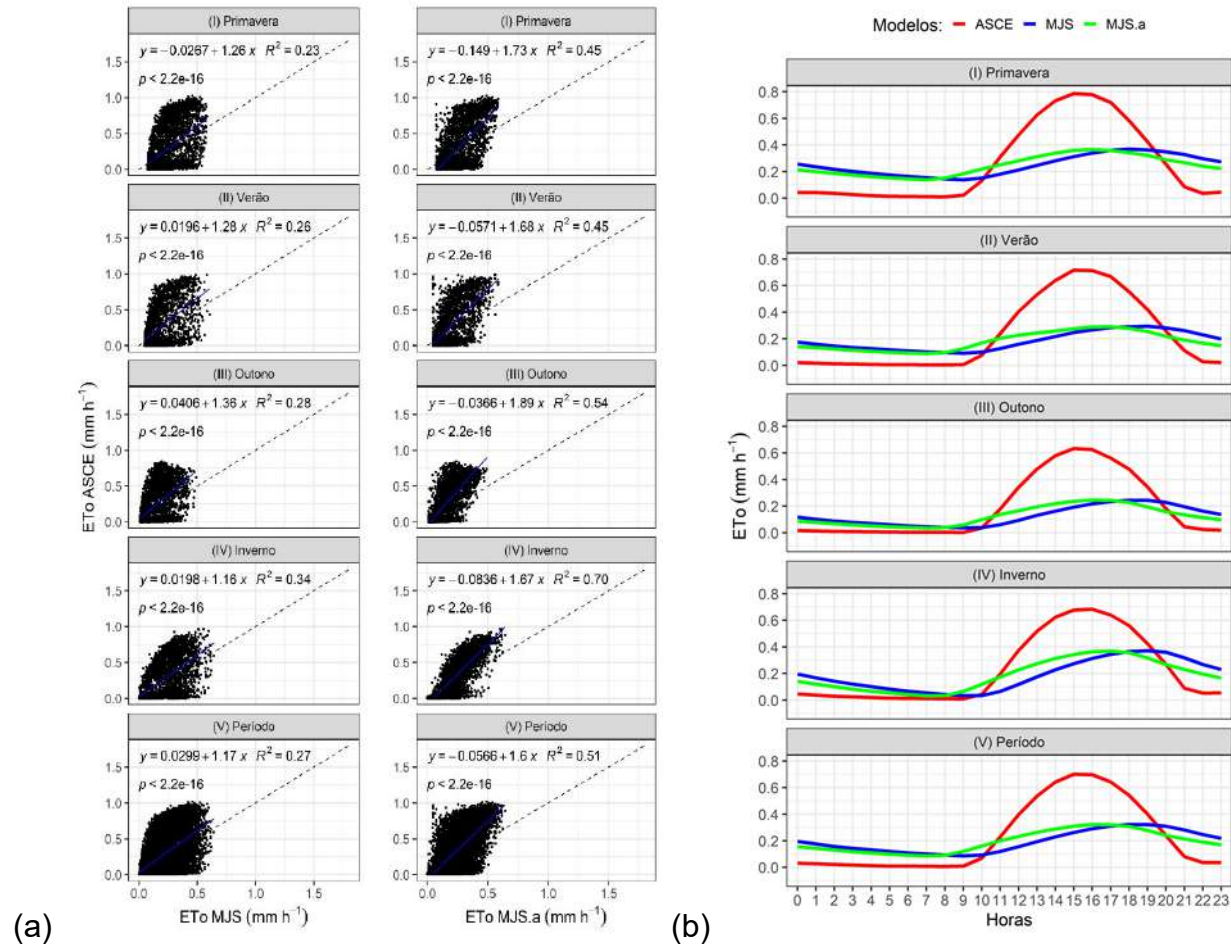
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.11 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BARBALHA (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



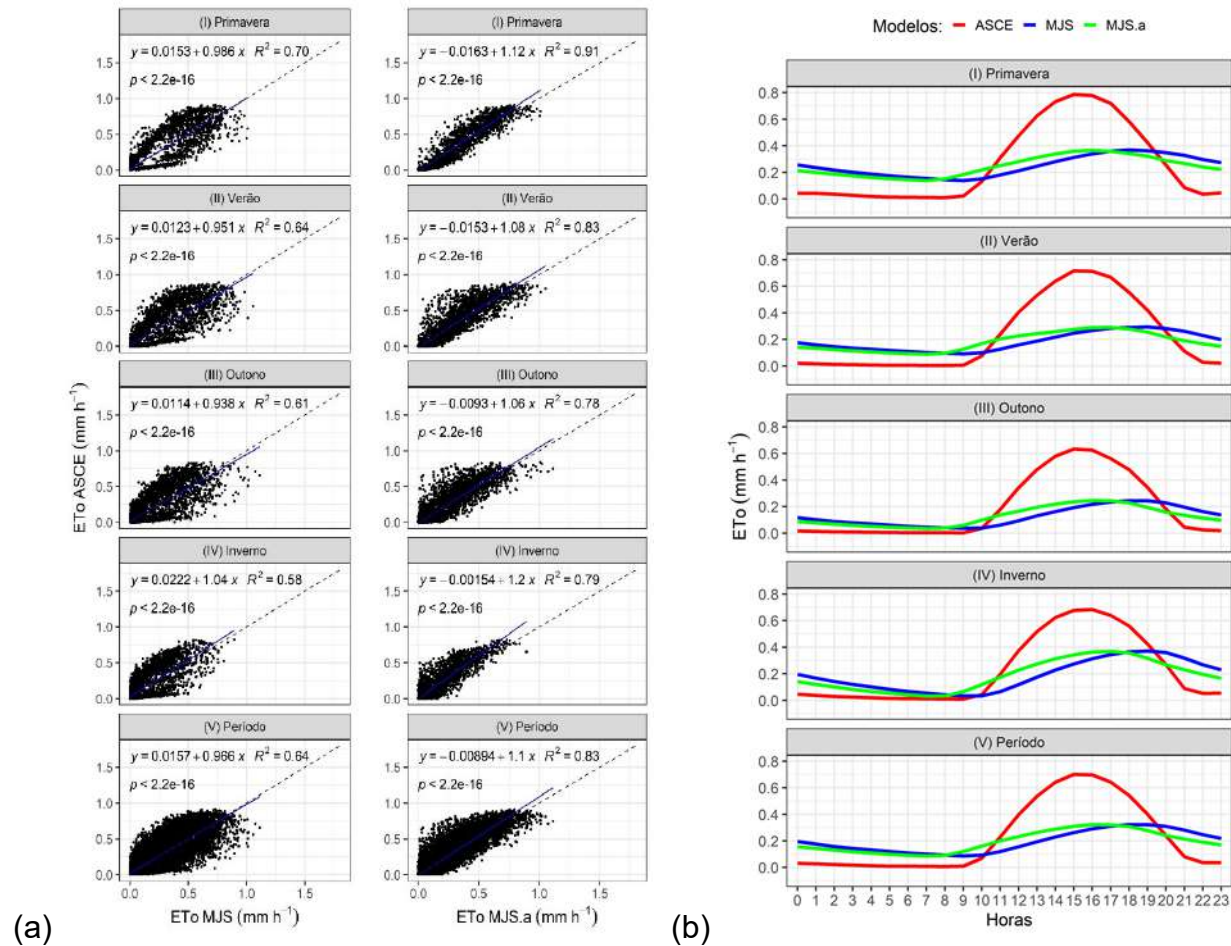
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.12 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BOM JESUS (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



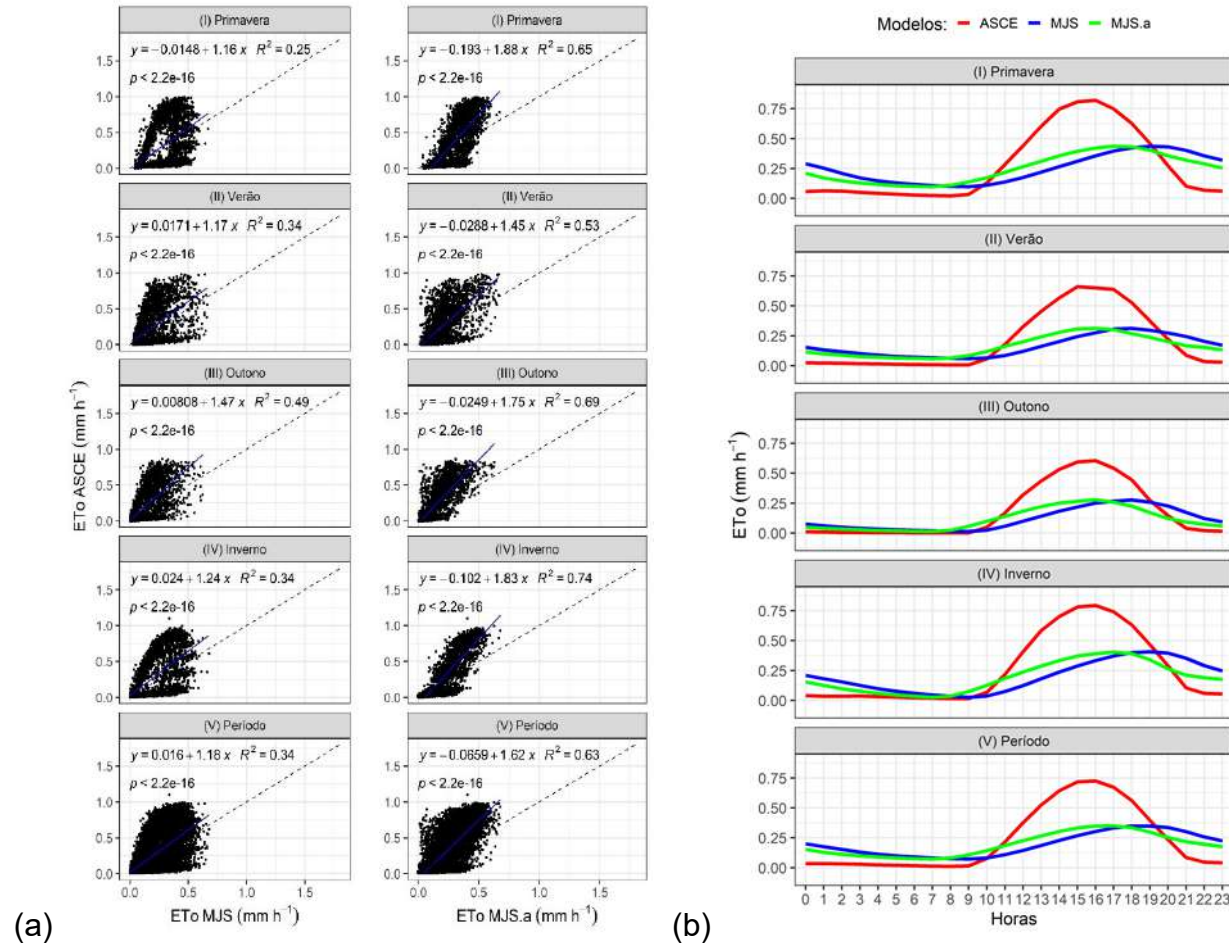
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.13 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE CAMPINA GRANDE (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



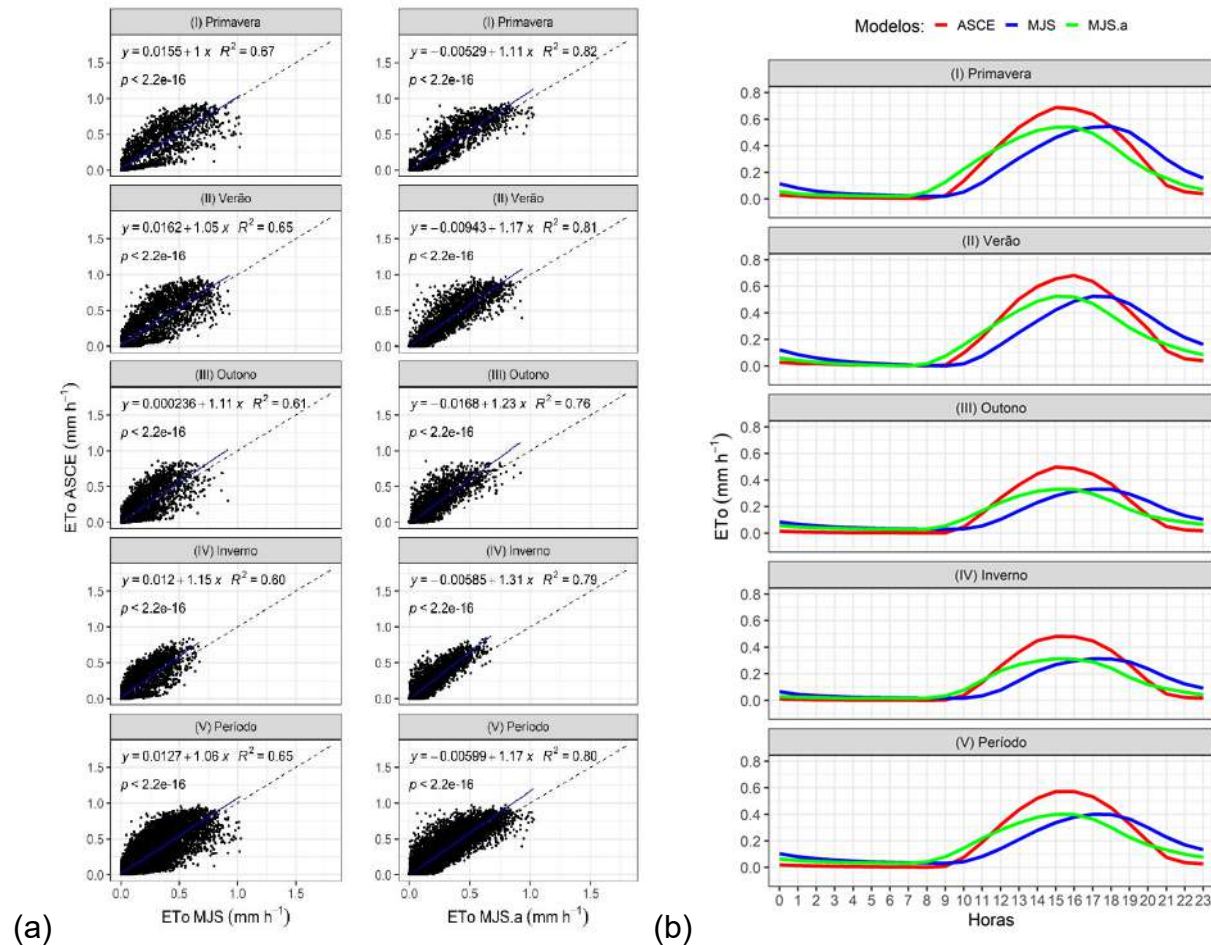
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.14 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE CRATEUS (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



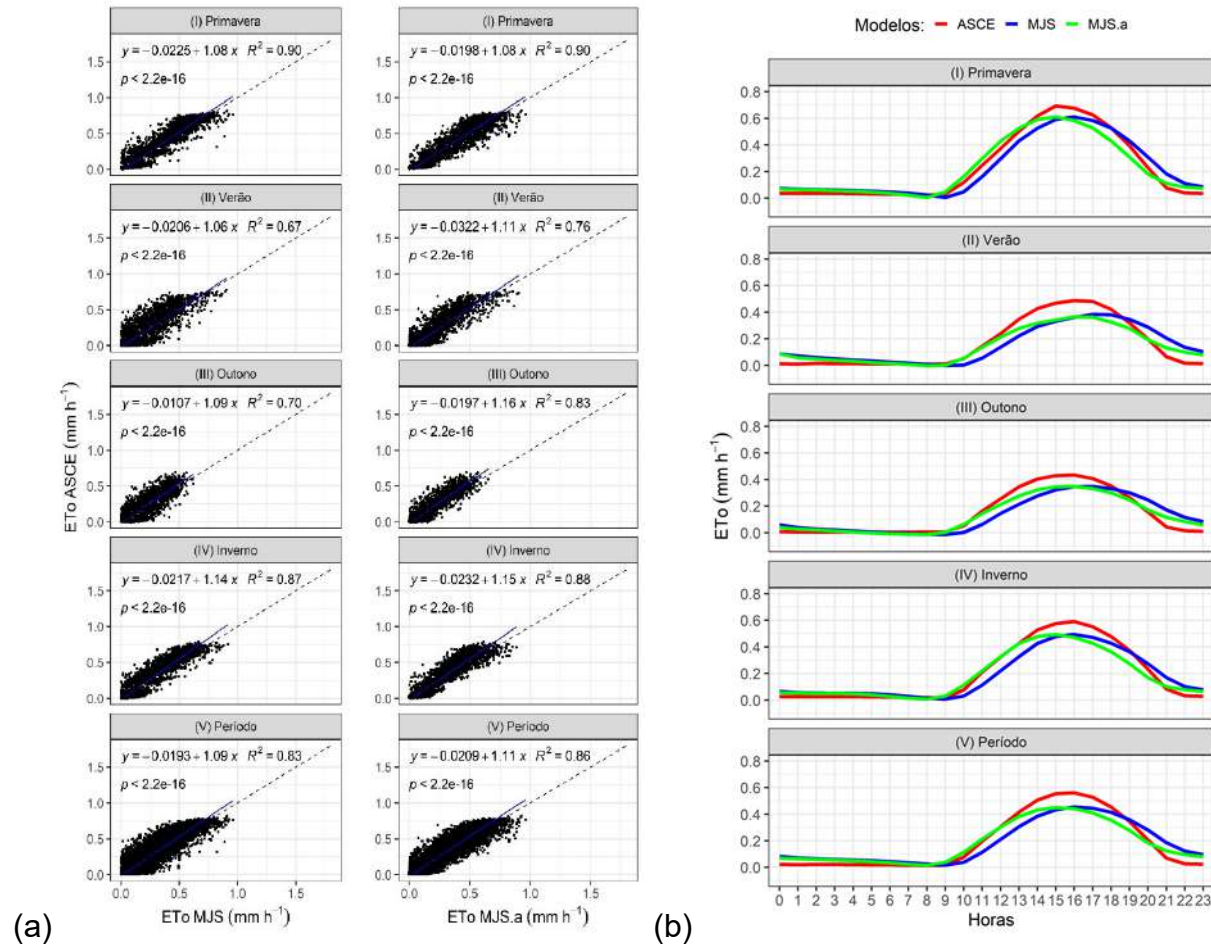
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.15 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE FEIRA DE SANTANA (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



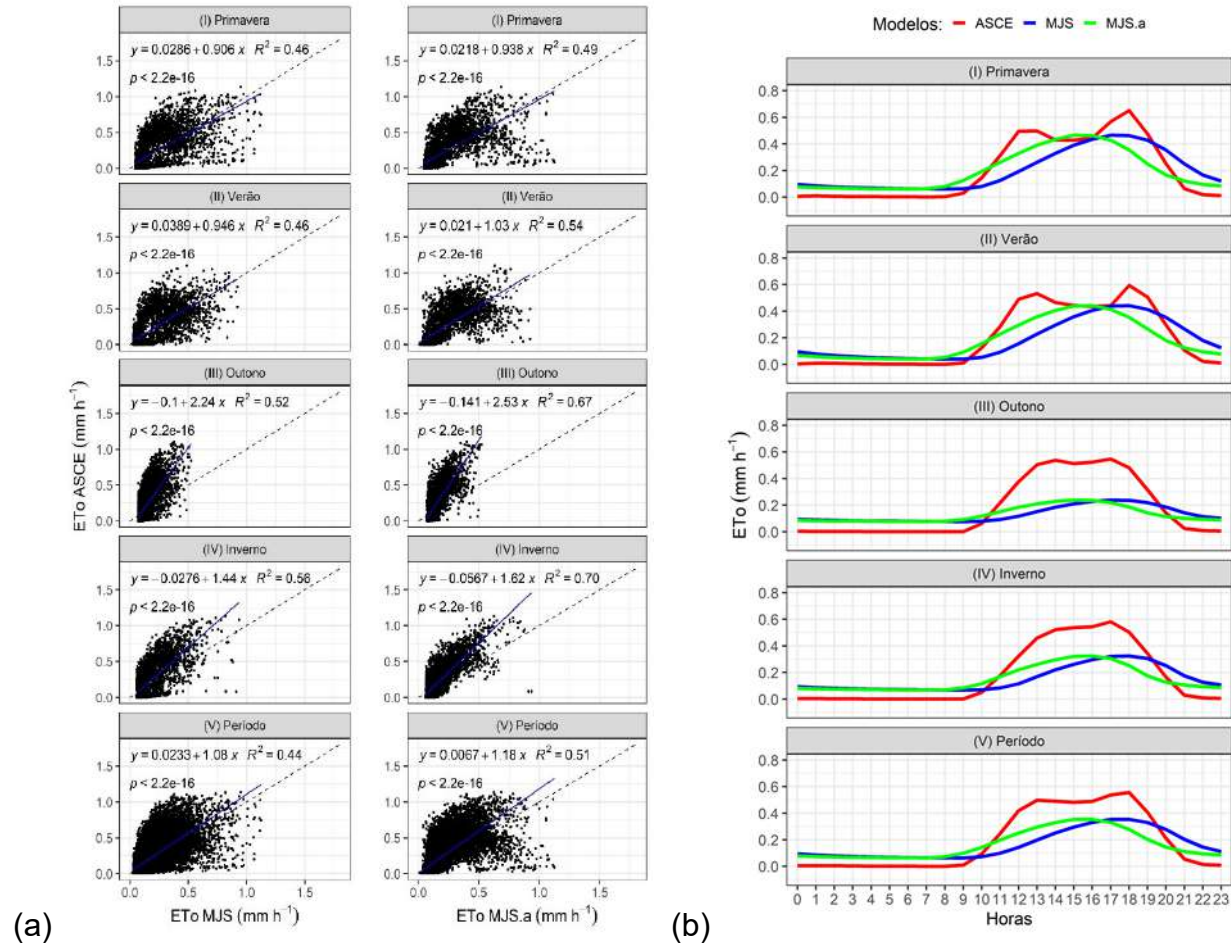
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.16 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE FORTALEZA (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



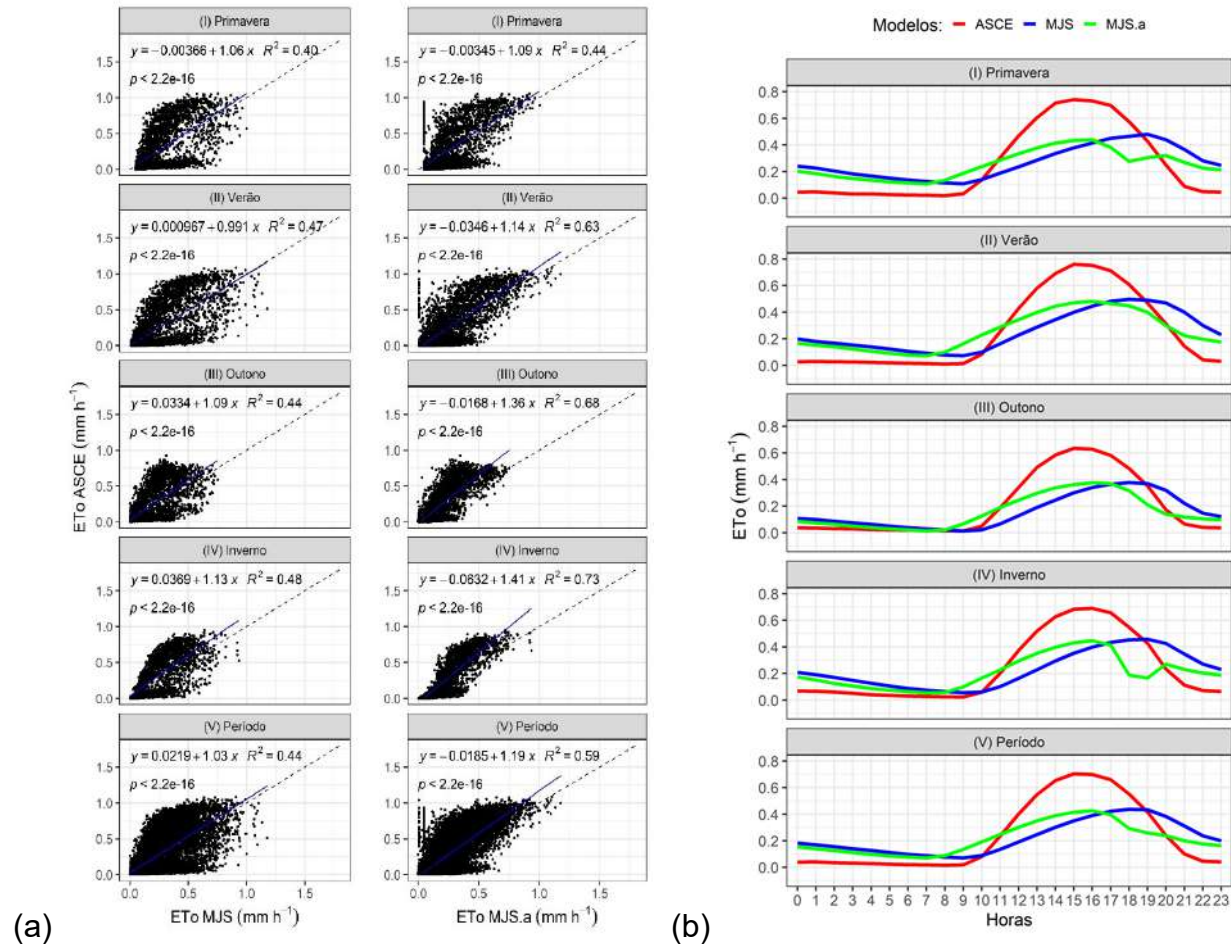
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.17 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE ITIRUÇU (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



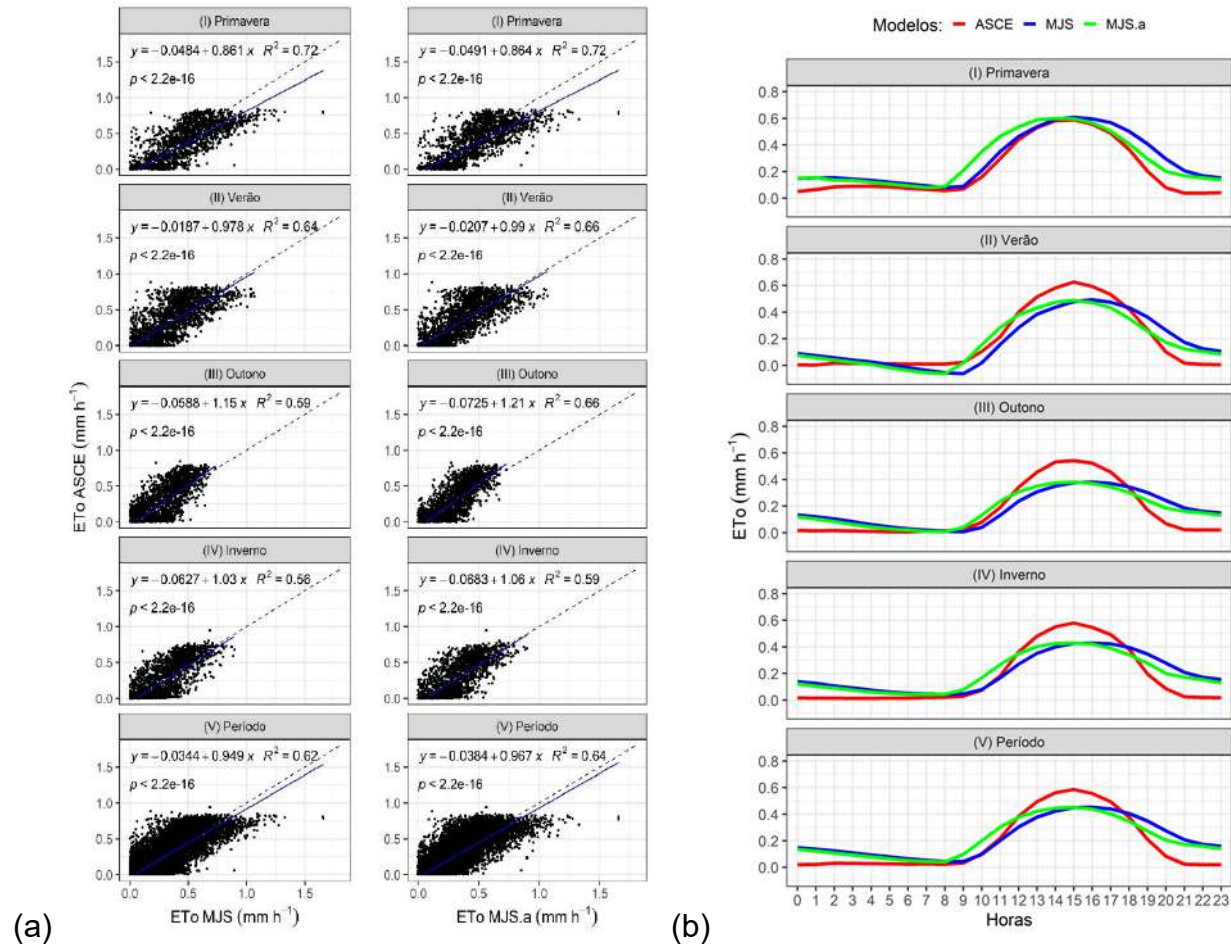
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.18 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE JANAUBA (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



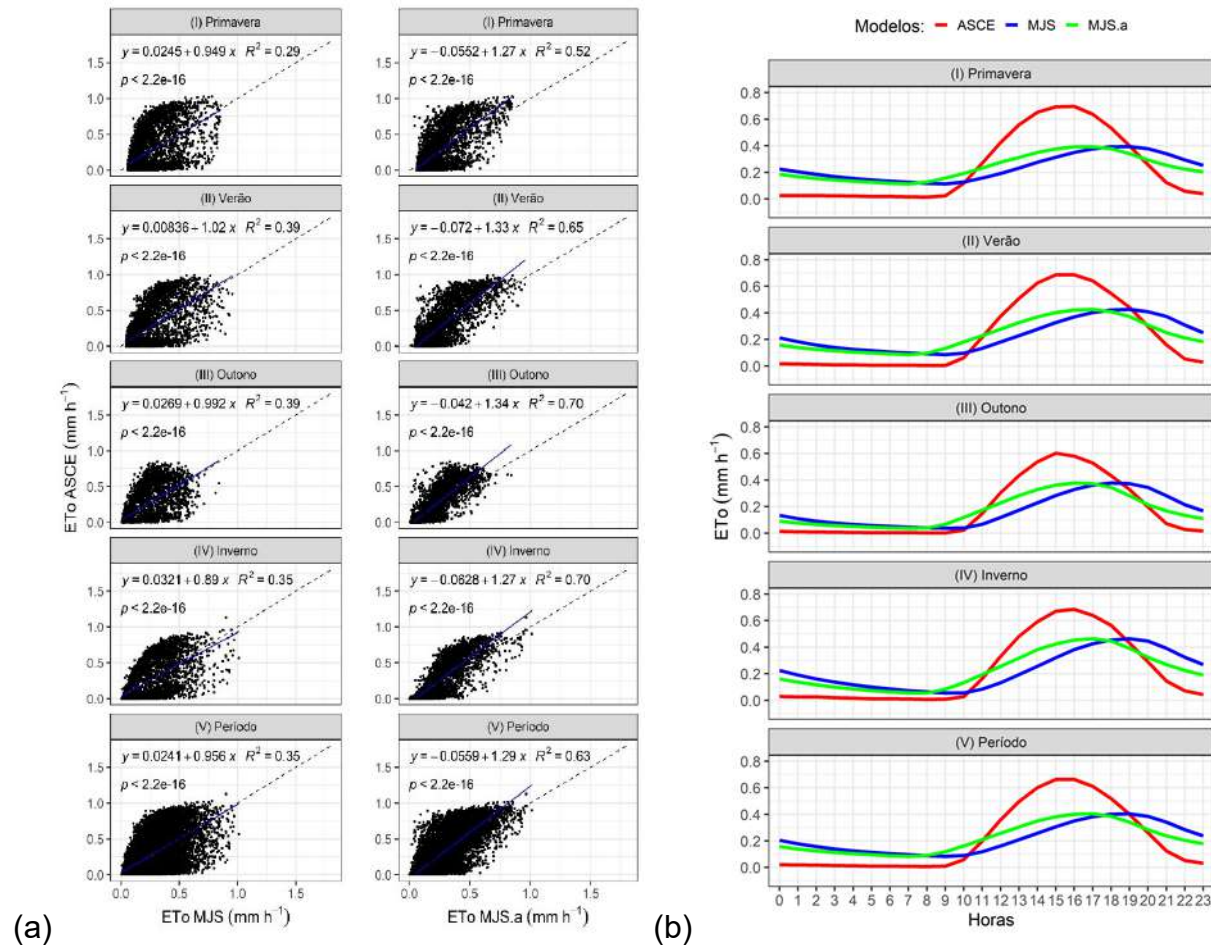
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.19 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE JOÃO PESSOA (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



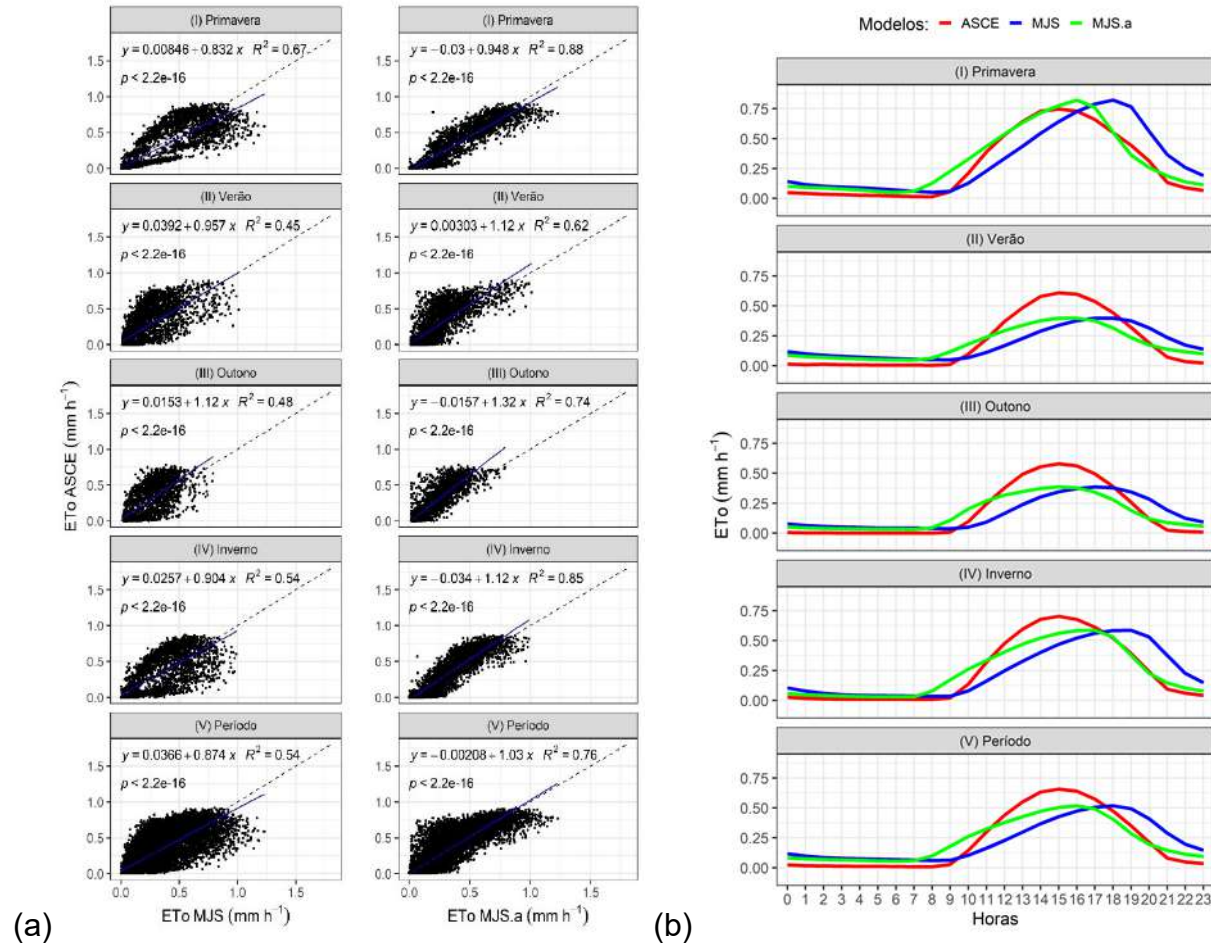
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.20 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE MONTES CLAROS (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



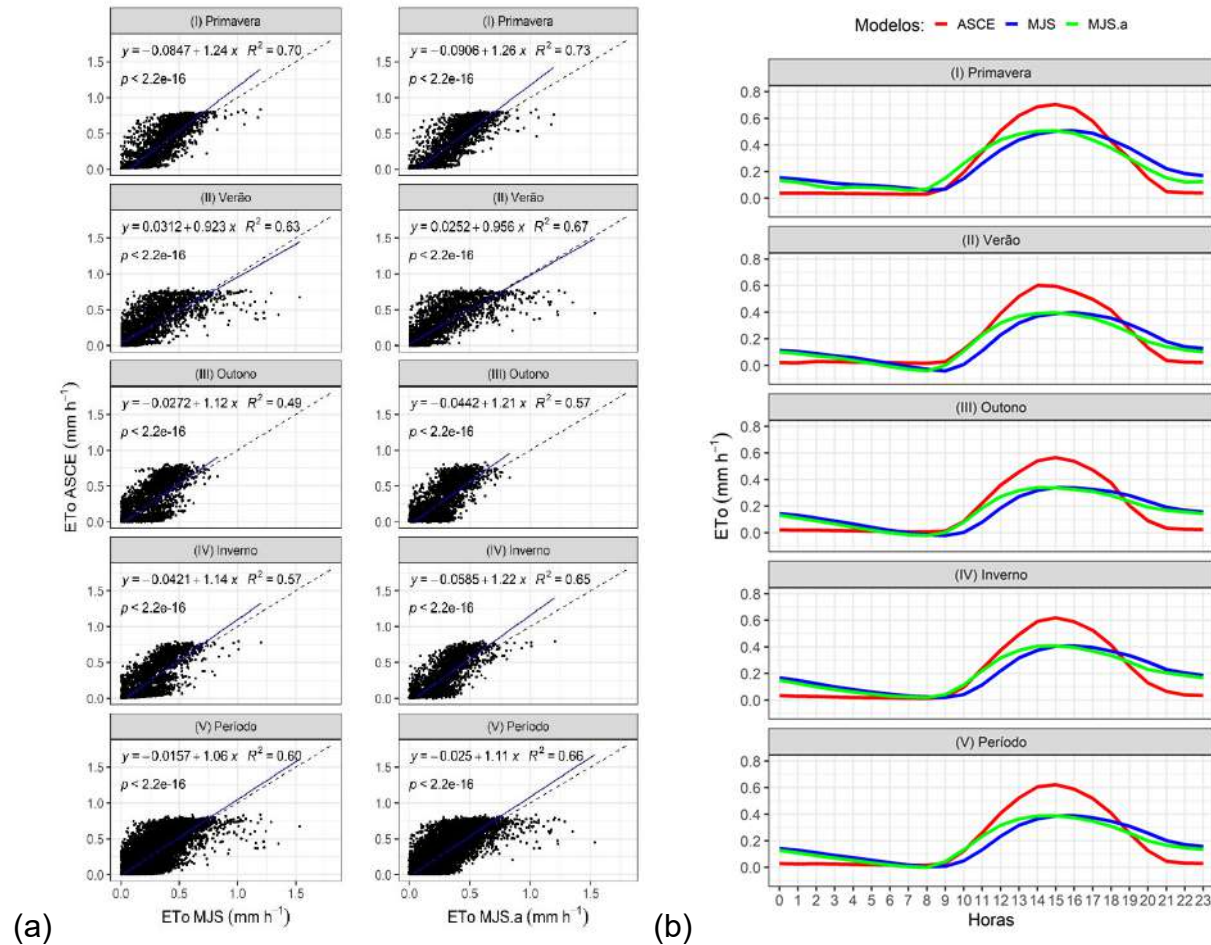
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.21 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE MORADA (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



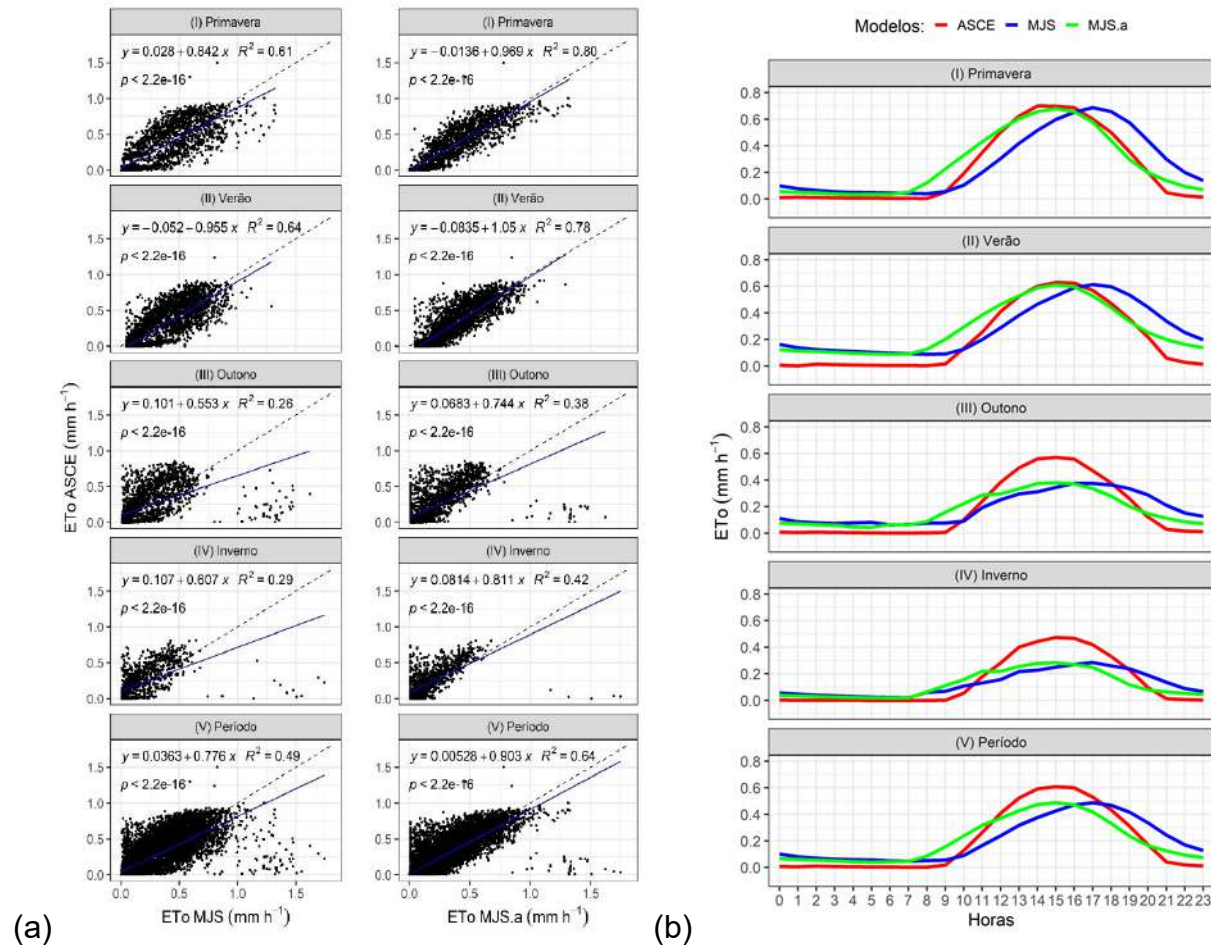
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.22 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE NATAL (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



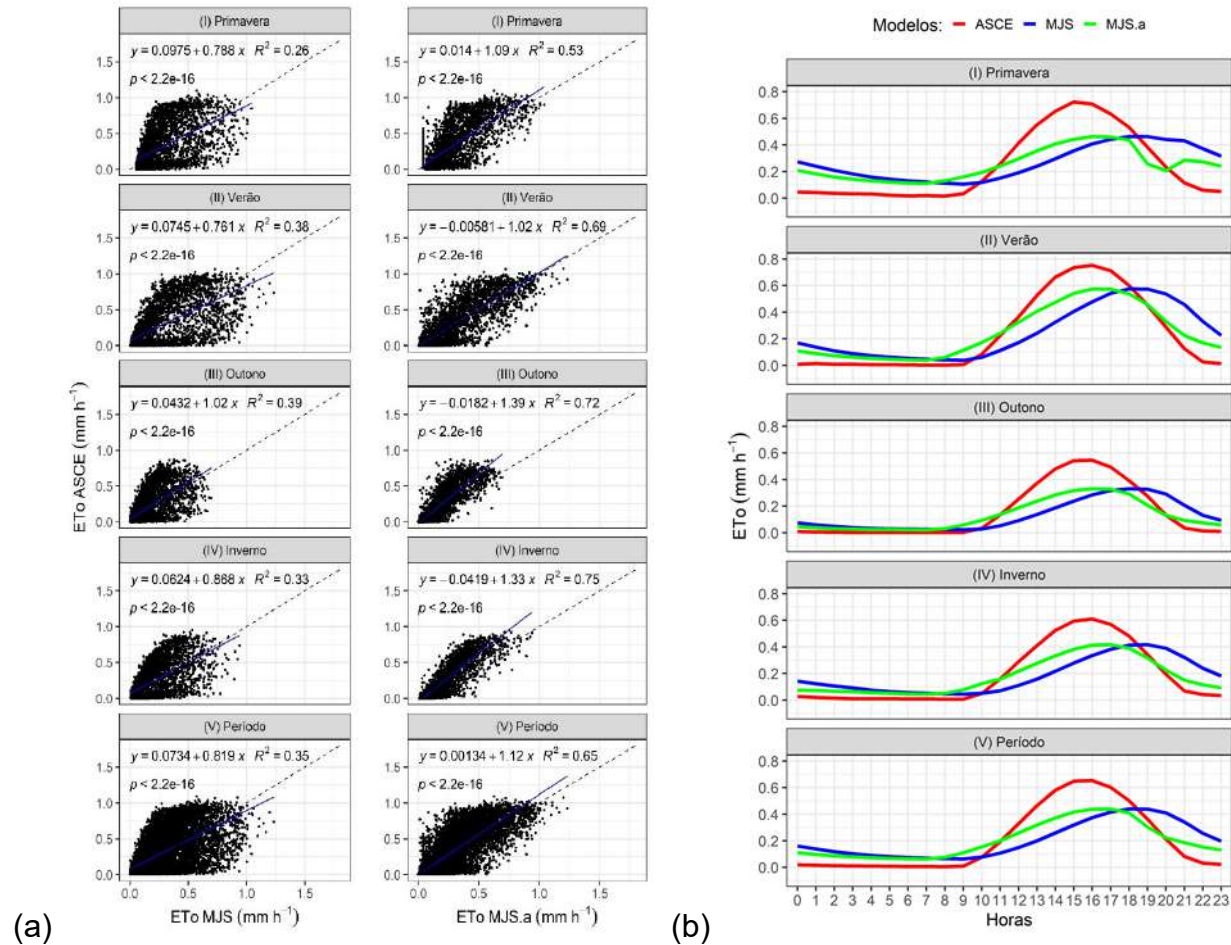
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.23 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PALMEIRA DOS ÍNDIOS (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



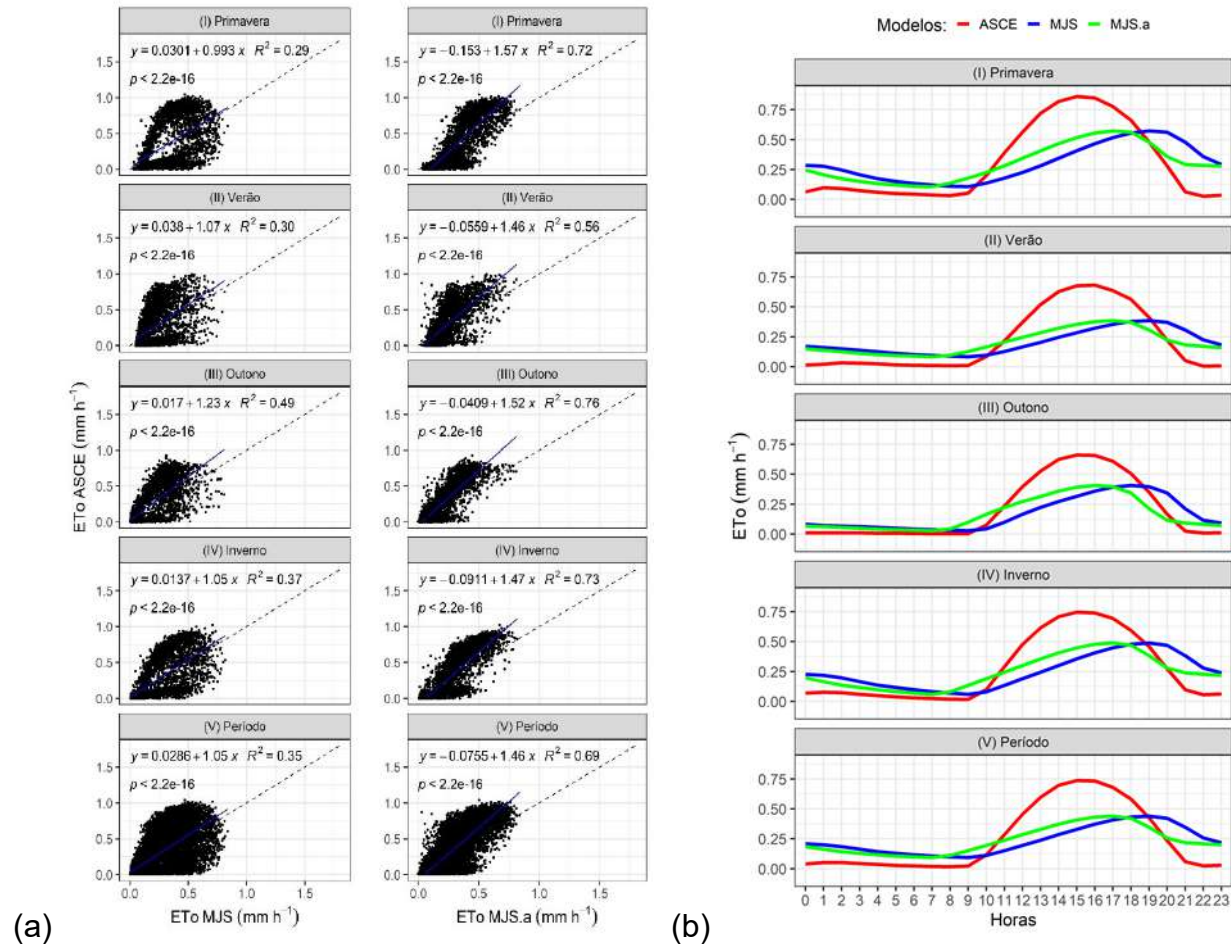
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.24 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE SALINAS (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



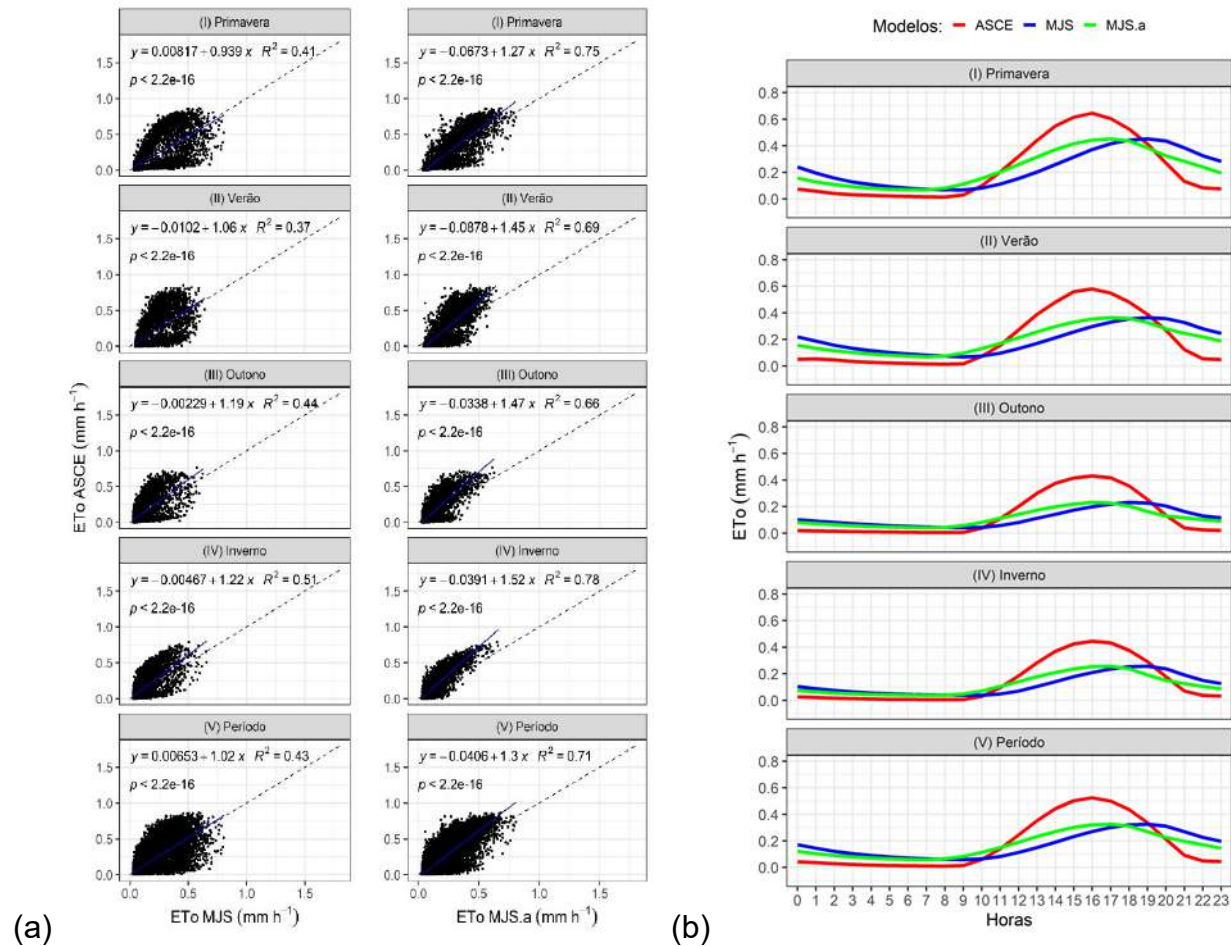
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.25 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE SÃO GONÇALO (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



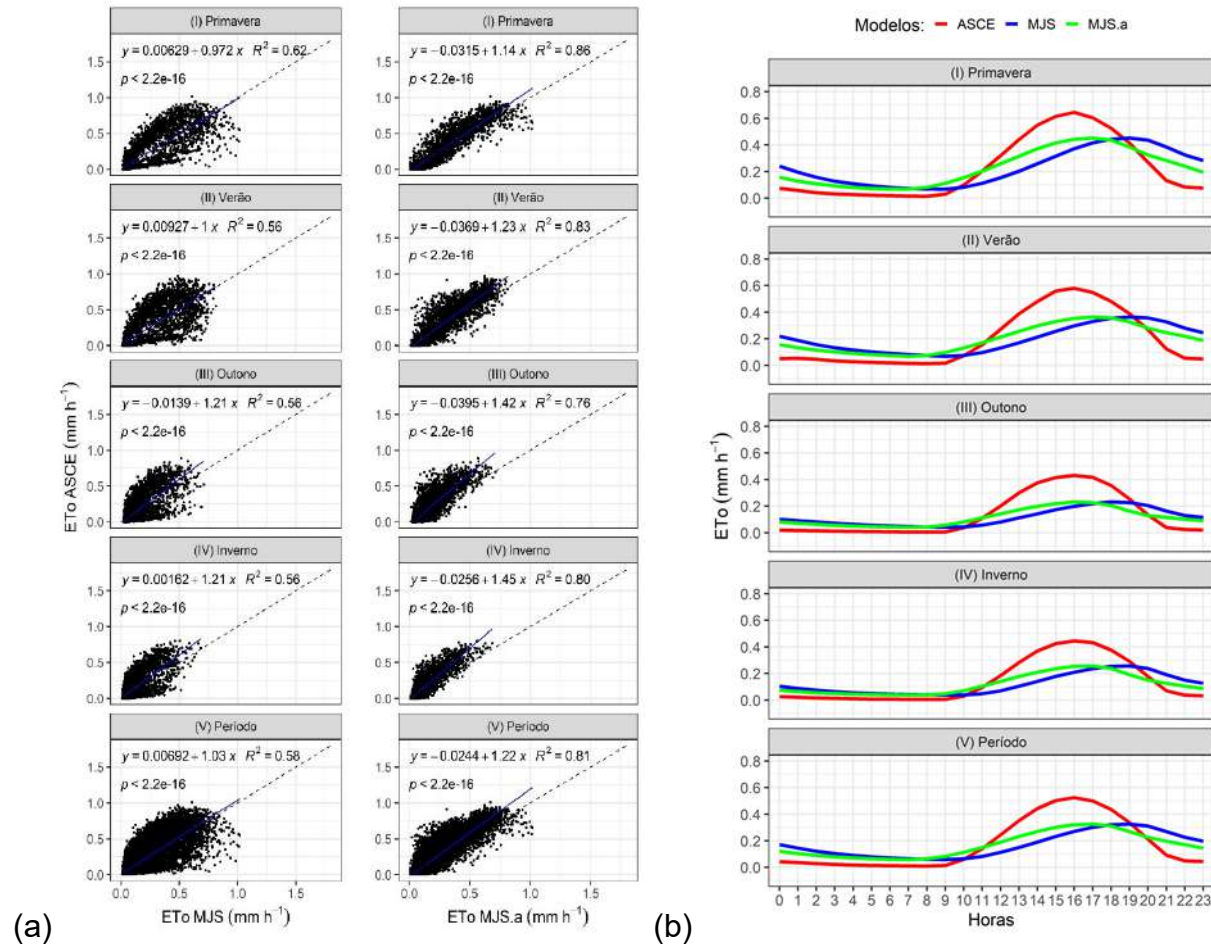
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.26 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE SENHOR DO BONFIM (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



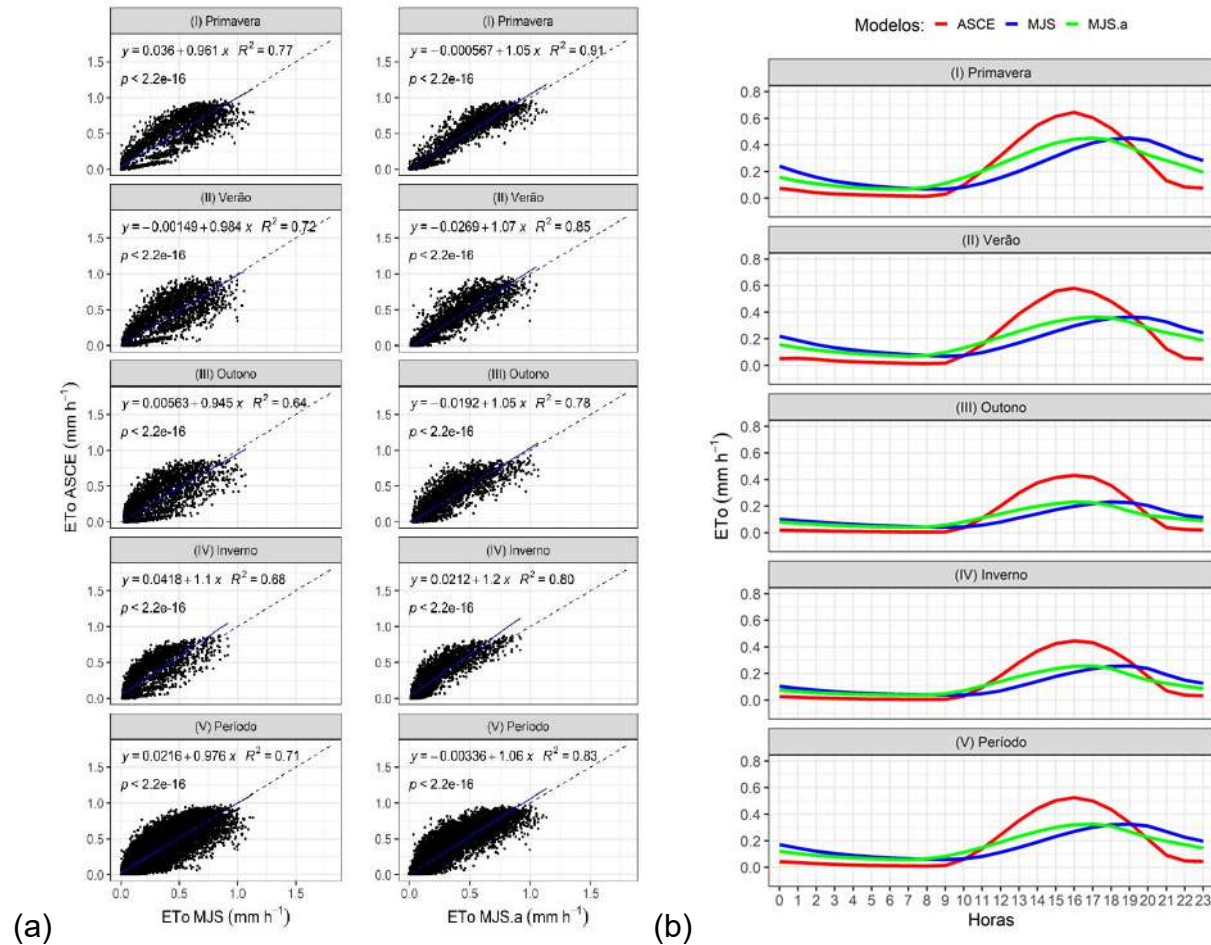
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.27 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE SERRINHA (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.28 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE SURUBIM (CLIMA As; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



Fonte: O autor (2024).

TABELA A7.3. INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NA VALIDAÇÃO, DAS ASSOCIAÇÕES ENTRE ET_o HORÁRIAS (ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020) DAS LOCALIDADES DO CLIMA Aw, ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE-PM (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURKI-SILVA, ANTES E APÓS AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS,a}$, RESPECTIVAMENTE): RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (RMSE; mm h⁻¹); COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (“r”; ADIMENSIONAL); E, EFICIÊNCIA DE NASH-SUTCLIFFE (NSE; ADIMENSIONAL).

			--- ET_{oASCE} vs ET_{oMJS} ---				--- ET_{oASCE} vs $ET_{oMJS,a}$ ---		
Localidades	Intervalo	Modelo	Antes do ajuste			Ajuste	Após ajuste		
			r	RMSE	NSE	Horas	r	RMSE	NSE
Bacabal	Período	Quadrático	0.72	0.17	0.16	2	0.86	0.13	0.55
	Primavera	Linear	0.65	0.19	-0.65	2	0.89	0.14	0.19
	Verão	Linear	0.72	0.16	0.24	2	0.80	0.13	0.48
	Outono	Linear	0.76	0.16	0.29	2	0.90	0.11	0.64
	Inverno	Linear	0.64	0.20	-0.08	2	0.92	0.12	0.58
Barra	Período	Linear	0.58	-0.72	0.24	2	0.77	0.19	-0.09
	Primavera	Linear	0.53	0.27	-1.48	2	0.75	0.22	-0.66
	Verão	Linear	0.57	0.25	-0.70	2	0.74	0.20	-0.16
	Outono	Linear	0.61	0.21	-0.77	2	0.78	0.17	-0.20
	Inverno	Linear	0.63	0.21	-0.47	2	0.87	0.15	0.29
Barreiras	Período	Linear	0.62	0.21	-0.49	2	0.80	0.17	0.07
	Primavera	Quadrático	0.50	0.25	-1.62	2	0.70	0.22	-1.05
	Verão	Linear	0.67	0.21	0.06	2	0.82	0.16	0.45
	Outono	Linear	0.70	0.18	-0.78	2	0.87	0.14	-0.16
	Inverno	Linear	0.60	0.21	-0.43	2	0.85	0.15	0.32
Belo Horizonte	Período	Linear	0.65	0.17	-0.06	2	0.74	0.15	0.18
	Primavera	Linear	0.75	0.17	-0.07	2	0.78	0.15	0.15
	Verão	Linear	0.69	0.18	-0.26	2	0.78	0.16	0.01
	Outono	Linear	0.55	0.17	-0.76	2	0.67	0.15	-0.43
	Inverno	Linear	0.69	0.16	0.19	2	0.90	0.13	0.45
Bom Jesus	Período	Linear	0.60	0.21	-0.89	2	0.77	0.18	-0.30
	Primavera	Linear	0.62	0.21	-0.95	2	0.76	0.18	-0.45
	Verão	Quadrático	0.65	0.20	-0.15	2	0.76	0.13	0.17
	Outono	Linear	0.64	0.20	-1.63	2	0.80	0.17	-0.97
	Inverno	Linear	0.54	0.24	-1.61	2	0.82	0.19	-0.53
Brasília	Período	Linear	0.66	0.19	-0.26	2	0.78	0.16	0.08
	Primavera	Linear	0.59	0.21	-0.75	2	0.69	0.19	-0.42
	Verão	Linear	0.73	0.18	0.05	2	0.82	0.15	0.30
	Outono	Linear	0.72	0.15	-0.19	2	0.85	0.12	0.12
	Inverno	Linear	0.62	0.20	-0.46	2	0.78	0.16	0.03
Cáceres	Período	Quadrático	0.70	0.20	0.38	2	0.74	0.19	0.46
	Primavera	Linear	0.59	0.25	0.01	2	0.72	0.21	0.30
	Verão	Linear	0.74	0.20	0.51	2	0.82	0.17	0.67
	Outono	Linear	0.78	0.21	0.60	2	0.83	0.19	0.67
	Inverno	Linear	0.69	0.19	0.23	2	0.84	0.14	0.57
Caracol	Período	Linear	0.64	0.16	-0.39	2	0.80	0.13	0.10
	Primavera	Linear	0.58	0.19	-0.80	2	0.77	0.15	-0.16
	Verão	Linear	0.65	0.15	-0.49	2	0.77	0.13	-0.09
	Outono	Linear	0.66	0.14	-0.53	2	0.81	0.11	-0.02
	Inverno	Linear	0.68	0.16	-0.13	2	0.85	0.12	0.36
Carolina	Período	Linear	0.70	0.20	-0.44	2	0.83	0.16	0.00
	Primavera	Linear	0.62	0.21	-2.99	2	0.77	0.19	-2.27
	Verão	Linear	0.78	0.15	0.13	2	0.86	0.13	0.35
	Outono	Linear	0.72	0.18	-0.24	2	0.85	0.15	0.15
	Inverno	Linear	0.67	0.23	-0.40	2	0.86	0.27	0.22
Colinas	Período	Linear	0.67	0.19	-0.14	2	0.78	0.16	0.20
	Primavera	Linear	0.55	0.22	-1.55	2	0.75	0.18	-0.77
	Verão	Linear	0.67	0.18	0.18	2	0.75	0.16	0.39
	Outono	Linear	0.77	0.15	0.31	2	0.87	0.12	0.57
	Inverno	Linear	0.69	0.22	-0.25	2	0.78	0.19	0.12
Correntina	Período	Linear	0.70	0.21	-0.21	2	0.86	0.16	0.26
	Primavera	Linear	0.65	0.23	-0.72	2	0.80	0.20	-0.19
	Verão	Linear	0.73	0.21	-0.03	2	0.86	0.17	0.36
	Outono	Linear	0.75	0.18	-0.42	2	0.88	0.15	0.05
	Inverno	Linear	0.71	0.19	0.00	2	0.91	0.13	0.57
Goiânia	Período	Linear	0.68	0.18	-0.01	2	0.82	0.15	0.36
	Primavera	Linear	0.61	0.21	-0.38	2	0.73	0.18	-0.03
	Verão	Linear	0.74	0.17	0.22	2	0.84	0.14	0.47
	Outono	Linear	0.72	0.16	0.07	2	0.88	0.11	0.53
	Inverno	Linear	0.68	0.19	-0.04	2	0.85	0.14	0.42

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: TABELA A7.3. INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NA VALIDAÇÃO, DAS ASSOCIAÇÕES ENTRE ET_o HORÁRIAS (ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020) DAS LOCALIDADES DO CLIMA Aw , ESTIMADAS COM OS MODELOS $ASCE-PM$ (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURKI-SILVA, ANTES E APÓS AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS,a}$, RESPECTIVAMENTE): RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO ($RMSE$; $mm\ h^{-1}$); COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (" r "; ADIMENSIONAL); E, EFICIÊNCIA DE NASH-SUTCLIFFE (NSE ; ADIMENSIONAL).

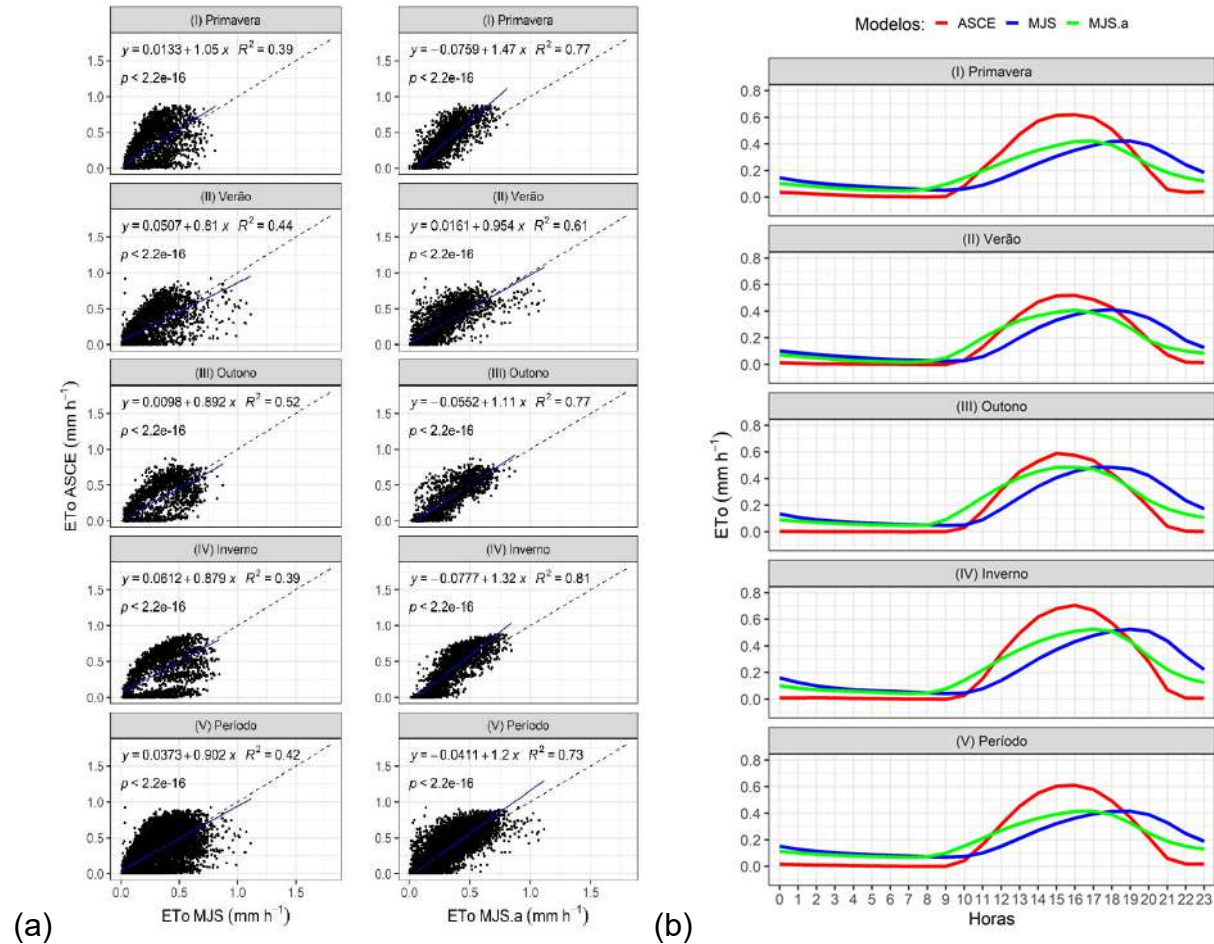
Localidades	Intervalo	Modelo	--- ET_{oASCE} vs ET_{oMJS} ---			Ajuste	--- ET_{oASCE} vs $ET_{oMJS,a}$ ---			
			Antes do ajuste				Horas	Após ajuste		
			r	RMSE	NSE			r	RMSE	NSE
Imperatriz	Período	Linear	0.53	0.20	-0.99	2	0.82	0.15	-0.05	
	Primavera	Linear	0.45	0.20	-2.39	2	0.75	0.16	-1.17	
	Verão	Linear	0.55	0.19	-0.92	2	0.83	0.13	-0.01	
	Outono	Linear	0.54	0.19	-0.78	2	0.81	0.14	0.08	
	Inverno	Linear	0.55	0.22	-0.70	2	0.86	0.15	0.26	
Ivinhema	Período	Linear	0.72	0.18	0.30	2	0.81	0.16	0.50	
	Primavera	Linear	0.71	0.21	0.36	2	0.77	0.19	0.50	
	Verão	Linear	0.71	0.20	0.19	2	0.82	0.16	0.48	
	Outono	Linear	0.76	0.14	0.27	2	0.81	0.13	0.41	
	Inverno	Linear	0.72	0.17	0.24	2	0.83	0.13	0.51	
Januária	Período	Linear	0.65	0.23	0.25	2	0.77	0.18	0.50	
	Primavera	Linear	0.60	0.24	-0.34	2	0.75	0.20	0.08	
	Verão	Linear	0.70	0.28	0.44	2	0.83	0.22	0.64	
	Outono	Linear	0.70	0.18	-0.31	2	0.84	0.14	0.11	
	Inverno	Linear	0.74	0.19	0.22	2	0.84	0.15	0.48	
Jataí	Período	Linear	0.71	0.19	0.06	2	0.80	0.16	0.32	
	Primavera	Quadrático	0.65	0.23	-0.32	0	0.65	0.23	-0.32	
	Verão	Linear	0.77	0.18	0.33	2	0.85	0.15	0.54	
	Outono	Linear	0.72	0.16	0.01	2	0.89	0.12	0.48	
	Inverno	Linear	0.72	0.19	-0.02	2	0.86	0.14	0.40	
João Pinheiro	Período	Linear	0.61	0.20	-0.61	2	0.76	0.17	-0.14	
	Primavera	Linear	0.55	0.23	-0.99	2	0.70	0.20	-0.50	
	Verão	Linear	0.68	0.20	-0.47	2	0.78	0.17	-0.12	
	Outono	Linear	0.68	0.16	-0.46	2	0.84	0.13	0.03	
	Inverno	Linear	0.56	0.21	-0.77	2	0.76	0.16	-0.10	
Lençóis	Período	Linear	0.64	0.19	-0.70	2	0.84	0.15	-0.03	
	Primavera	Linear	0.61	0.21	-0.66	2	0.84	0.16	0.10	
	Verão	Linear	0.62	0.22	-0.70	2	0.84	0.17	0.03	
	Outono	Linear	0.74	0.16	-1.50	2	0.88	0.14	-0.91	
	Inverno	Linear	0.68	0.16	-1.14	2	0.89	0.13	-0.36	
Marabá	Período	Quadrático	0.79	0.15	0.41	2	0.84	0.13	0.55	
	Primavera	Linear	0.74	0.16	-0.35	2	0.90	0.13	0.18	
	Verão	Linear	0.82	0.12	0.49	2	0.91	0.09	0.72	
	Outono	Quadrático	0.83	0.17	0.25	2	0.90	0.15	0.45	
	Inverno	Linear	0.72	0.20	0.14	2	0.75	0.21	0.19	
Palmas	Período	Linear	0.68	0.19	0.04	2	0.76	0.17	0.24	
	Primavera	Linear	0.61	0.20	-1.26	2	0.70	0.19	-0.94	
	Verão	Linear	0.79	0.16	0.57	2	0.80	0.16	0.60	
	Outono	Linear	0.74	0.17	-0.14	2	0.80	0.15	0.04	
	Inverno	Linear	0.66	0.23	-0.20	2	0.82	0.18	0.24	
Pedro Afonso	Período	Quadrático	0.75	0.17	0.28	2	0.85	0.15	0.38	
	Primavera	Quadrático	0.68	0.20	-0.21	2	0.79	0.17	0.13	
	Verão	Linear	0.76	0.16	0.38	2	0.80	0.14	0.47	
	Outono	Linear	0.75	0.16	0.02	2	0.88	0.13	0.40	
	Inverno	Linear	0.74	0.15	0.20	2	0.92	0.12	0.66	
Pirapora	Período	Linear	0.70	0.20	-0.12	2	0.85	0.15	0.33	
	Primavera	Linear	0.62	0.23	-0.82	2	0.77	0.20	-0.30	
	Verão	Linear	0.73	0.21	-0.07	2	0.87	0.16	0.36	
	Outono	Linear	0.75	0.17	0.06	2	0.90	0.12	0.49	
	Inverno	Linear	0.72	0.18	0.14	2	0.89	0.12	0.60	
Posse	Período	Linear	0.58	0.22	-0.87	2	0.71	0.19	-0.45	
	Primavera	Linear	0.53	0.25	-1.82	2	0.63	0.23	-1.36	
	Verão	Linear	0.66	0.21	-0.07	2	0.70	0.20	0.04	
	Outono	Linear	0.65	0.18	-0.77	2	0.78	0.16	-0.32	
	Inverno	Linear	0.51	0.23	-1.70	2	0.74	0.19	-0.81	
Rondonópolis	Período	Quadrático	0.63	0.20	-0.04	2	0.79	0.15	0.38	
	Primavera	Linear	0.58	0.23	-0.20	2	0.72	0.19	0.17	
	Verão	Linear	0.63	0.20	0.02	2	0.83	0.14	0.51	
	Outono	Linear	0.58	0.18	-0.29	2	0.85	0.12	0.41	
	Inverno	Linear	0.61	0.20	-0.25	2	0.84	0.31	0.39	

CONTINUA:

CONTINUAÇÃO: TABELA A7.3. INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NA VALIDAÇÃO, DAS ASSOCIAÇÕES ENTRE ET_0 HORÁRIAS (ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020) DAS LOCALIDADES DO CLIMA Aw , ESTIMADAS COM OS MODELOS $ASCE-PM$ (ET_{ASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURKI-SILVA, ANTES E APÓS AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{MJS} E $ET_{MJS,a}$, RESPECTIVAMENTE): RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO ($RMSE$; $mm\ h^{-1}$); COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (" r "; ADIMENSIONAL); E, EFICIÊNCIA DE NASH-SUTCLIFFE (NSE ; ADIMENSIONAL).

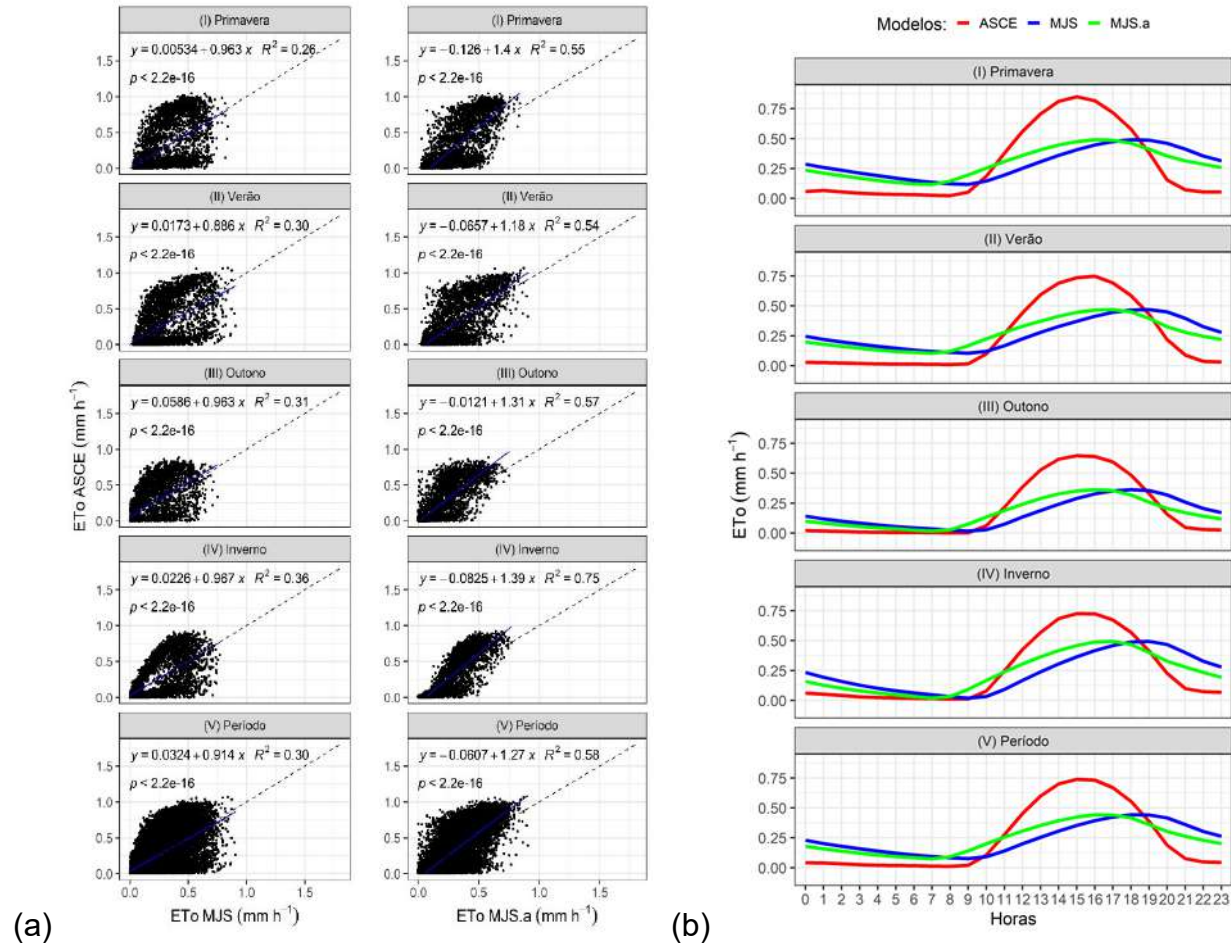
DE RASH CONCEPT (RSC), ADMENSURACÃO:									
Localidades	Intervalo	Modelo	--- ET_{ASCE} vs ET_{MJS} ---			Ajuste	--- ET_{ASCE} vs $ET_{MJS,a}$ ---		
			Antes do ajuste				Após ajuste		
			r	RMSE	NSE	Horas	r	RMSE	NSE
Teresina	Período	Linear	0.69	0.17	-0.55	2	0.82	0.14	-0.06
	Primavera	Linear	0.61	0.20	-1.30	2	0.80	0.17	-0.43
	Verão	Linear	0.56	0.16	-1.85	2	0.70	0.14	-1.31
	Outono	Linear	0.81	0.12	0.08	2	0.86	0.11	0.26
	Inverno	Linear	0.70	0.18	-0.23	2	0.87	0.14	0.33
Votuporanga	Período	Linear	0.70	0.19	0.23	2	0.82	0.15	0.52
	Primavera	Linear	0.61	0.24	0.04	2	0.74	0.20	0.32
	Verão	Linear	0.76	0.18	0.39	2	0.85	0.14	0.60
	Outono	Linear	0.76	0.15	0.35	2	0.89	0.10	0.68
	Inverno	Linear	0.71	0.18	0.13	2	0.86	0.14	0.51
Média clima Aw	Período	Linear	0.66	0.16	-0.20	2	0.78	0.16	0.13
	Primavera	Linear	0.60	0.22	-0.83	2	0.73	0.19	-0.37
	Verão	Linear	0.69	0.19	-0.09	2	0.80	0.16	0.21
	Outono	Linear	0.70	0.17	-0.32	2	0.82	0.14	0.07
	Inverno	Linear	0.65	0.20	-0.31	2	0.82	0.16	0.19

FIGURA A7.29 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BACABAL (CLIMA Aw ; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



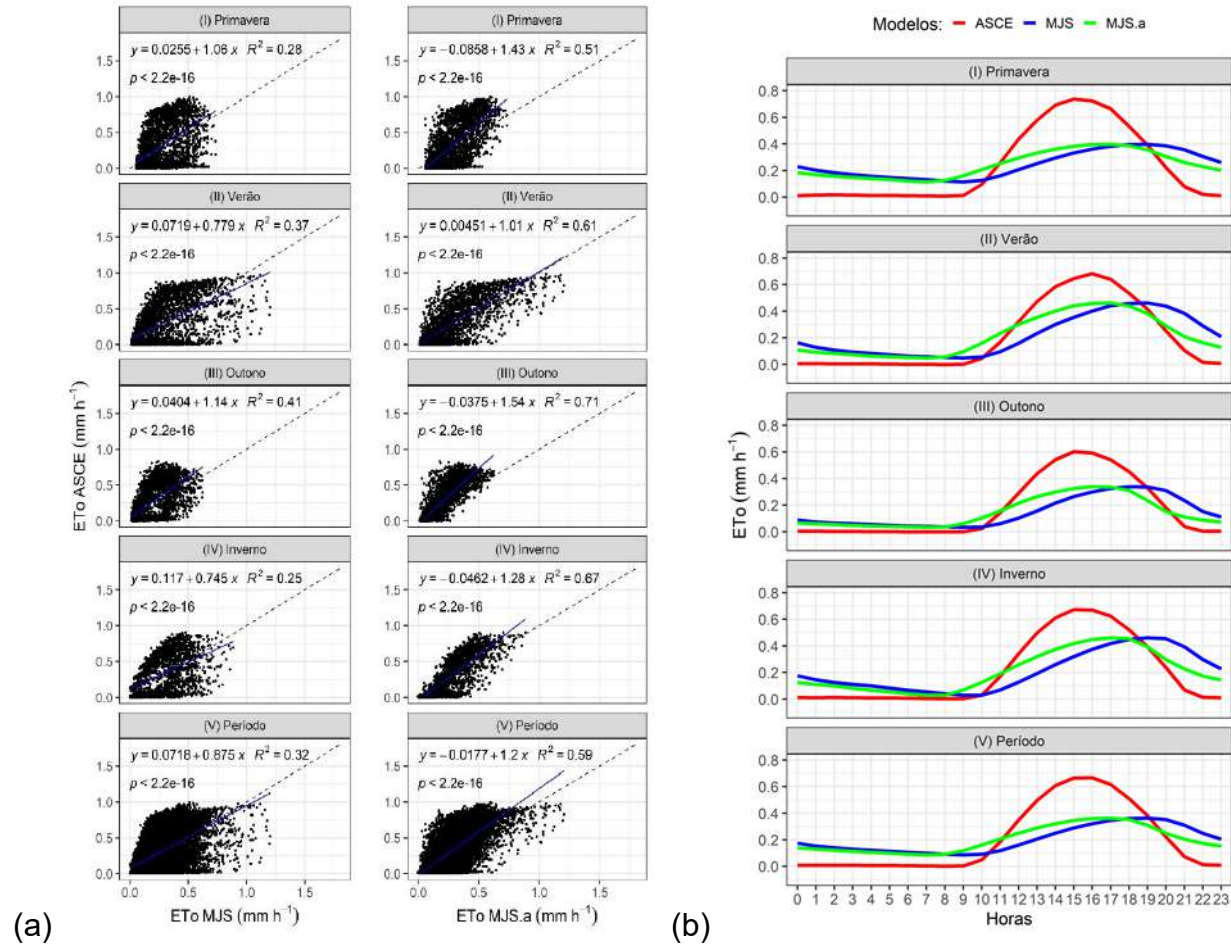
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.30 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BARRA (CLIMA A_w ; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO:
a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



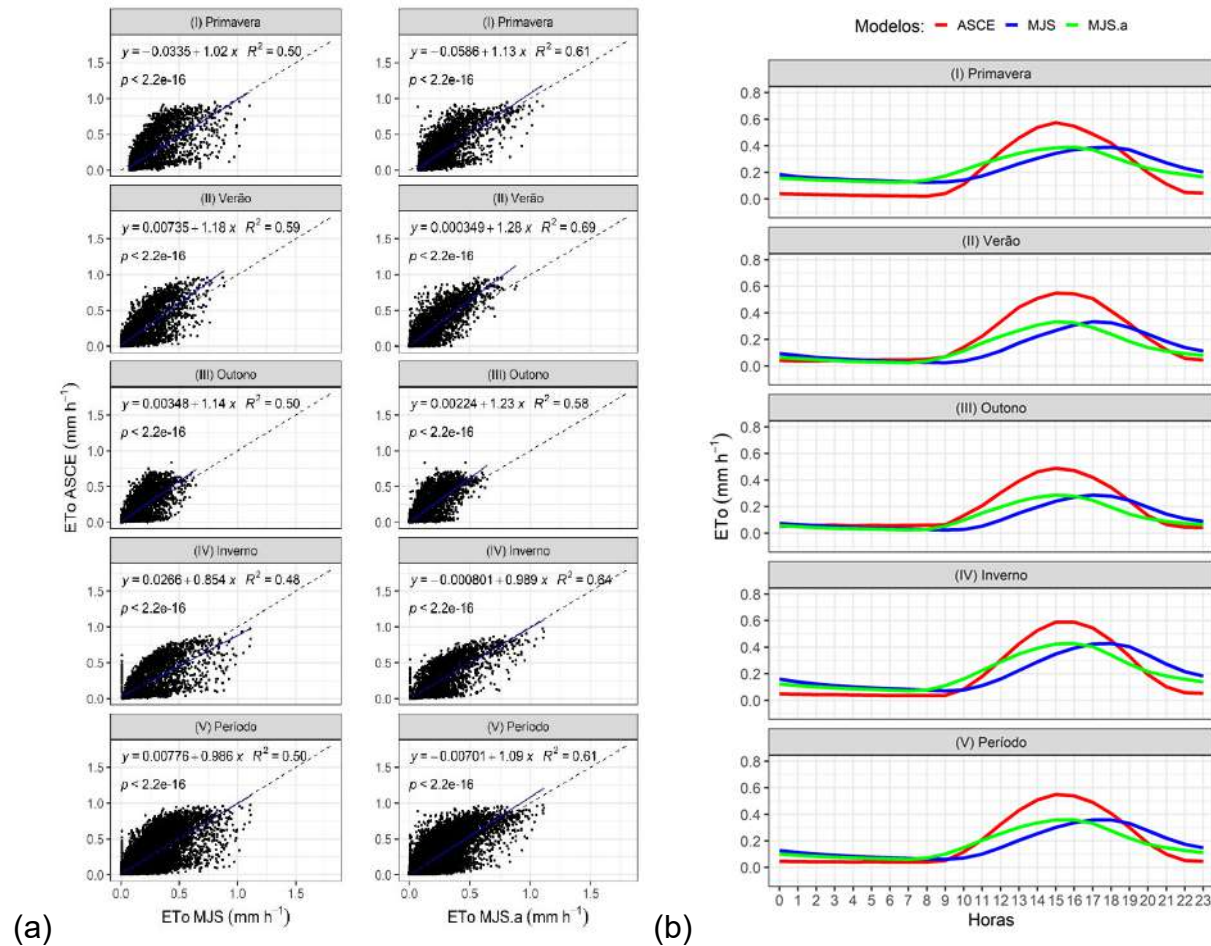
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.31 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BARREIRAS (CLIMA A_w ; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



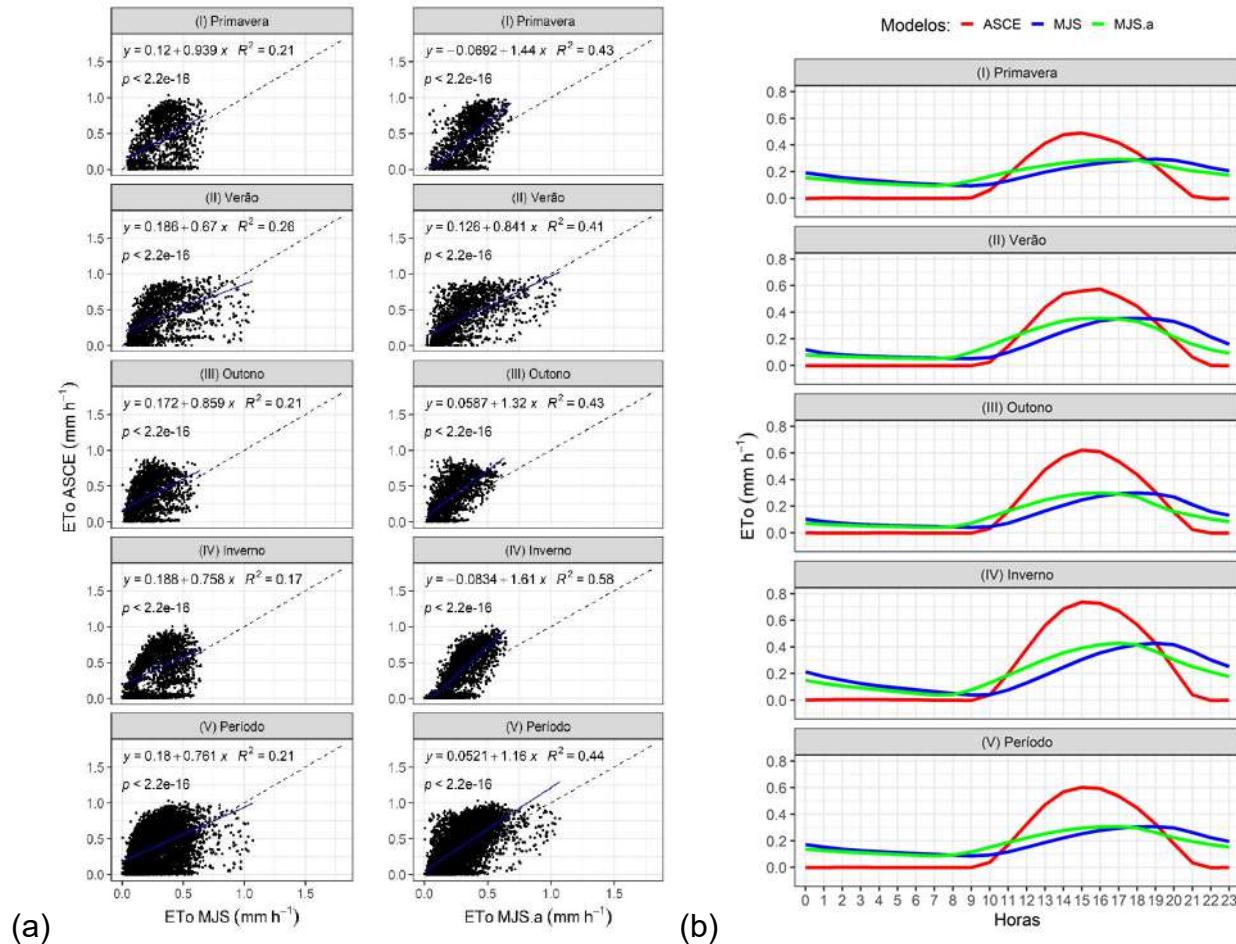
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.32 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BELO HORIZONTE (CLIMA Aw; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



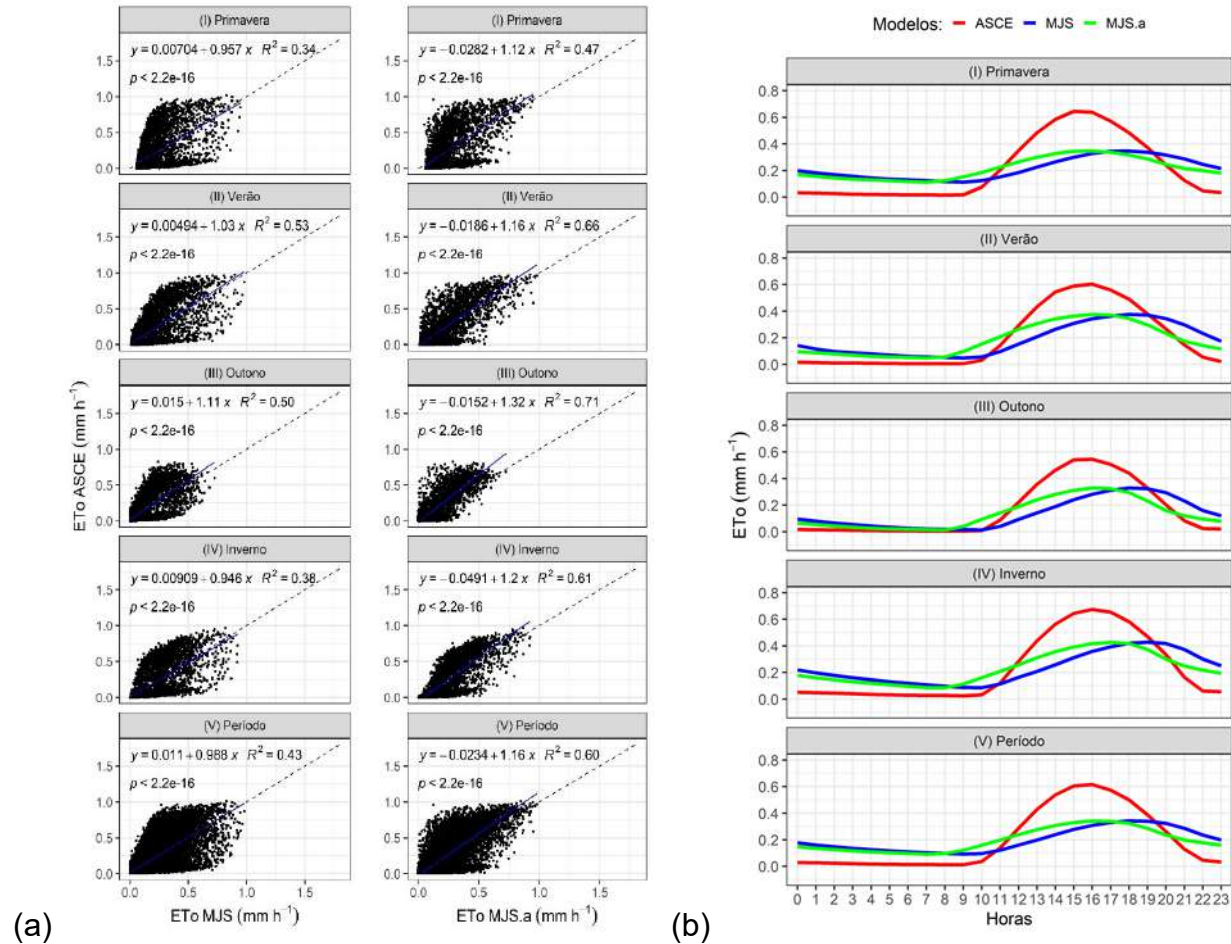
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.33 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BOM JESUS (CLIMA A_w ; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



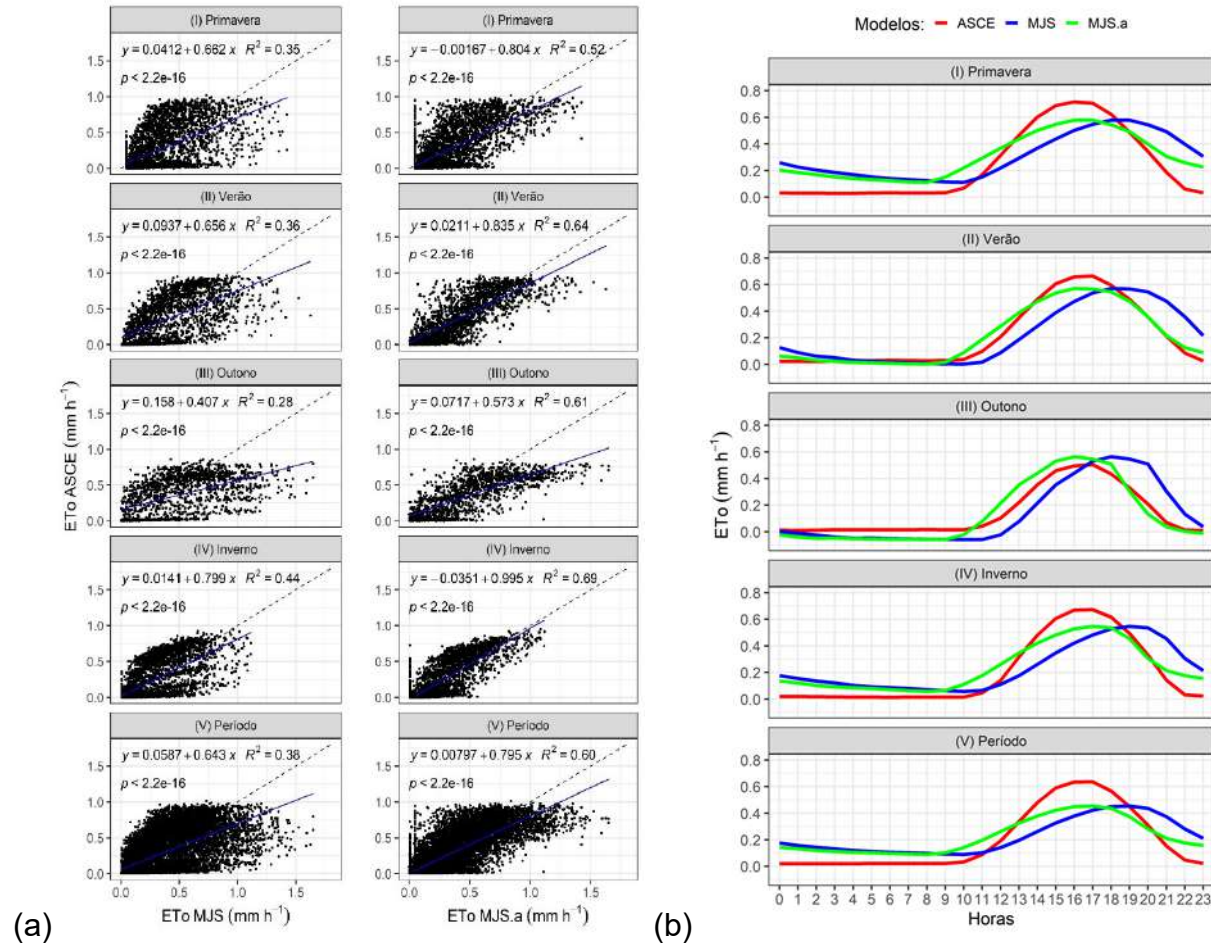
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.34 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BRASÍLIA (CLIMA A_w ; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



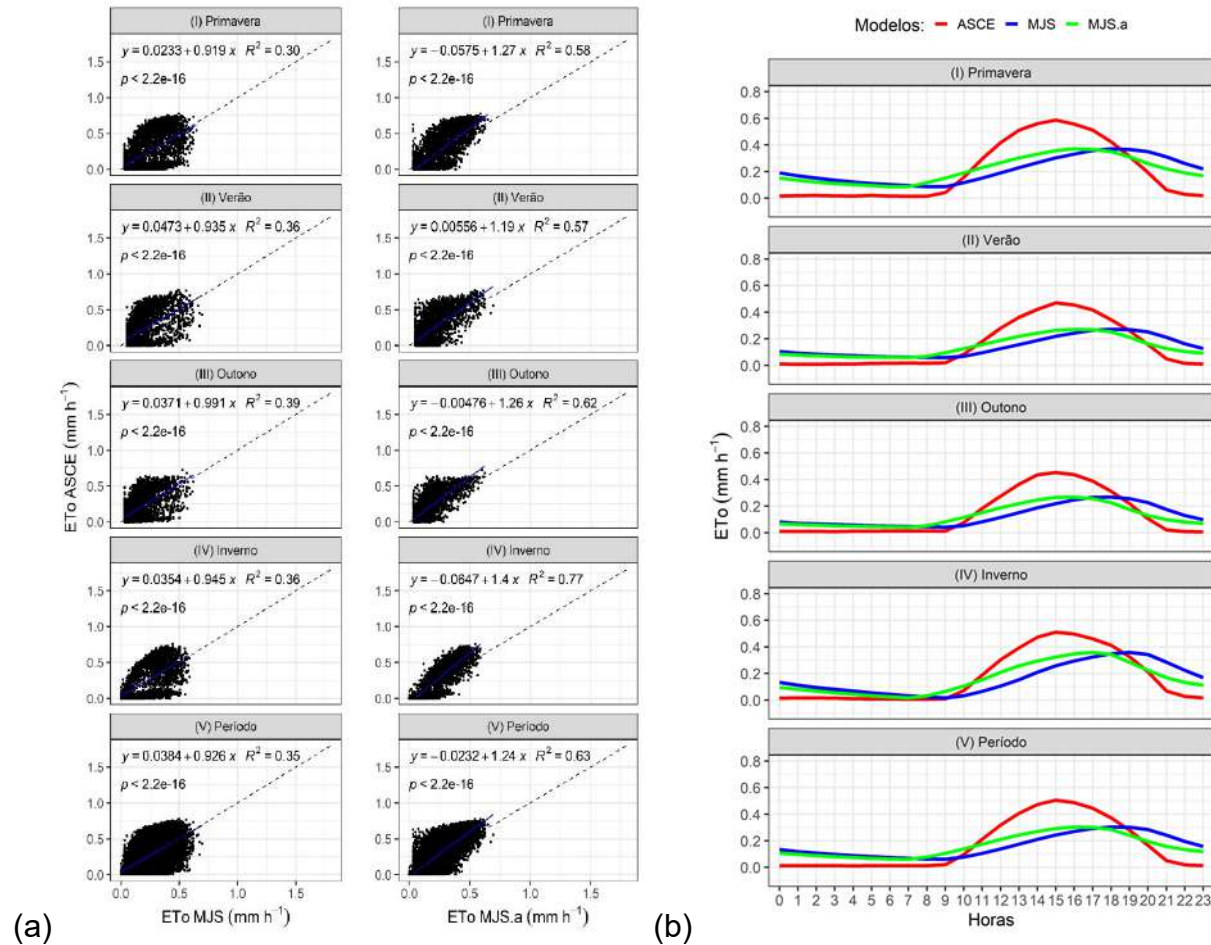
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.35 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE CACERES (CLIMA Aw; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



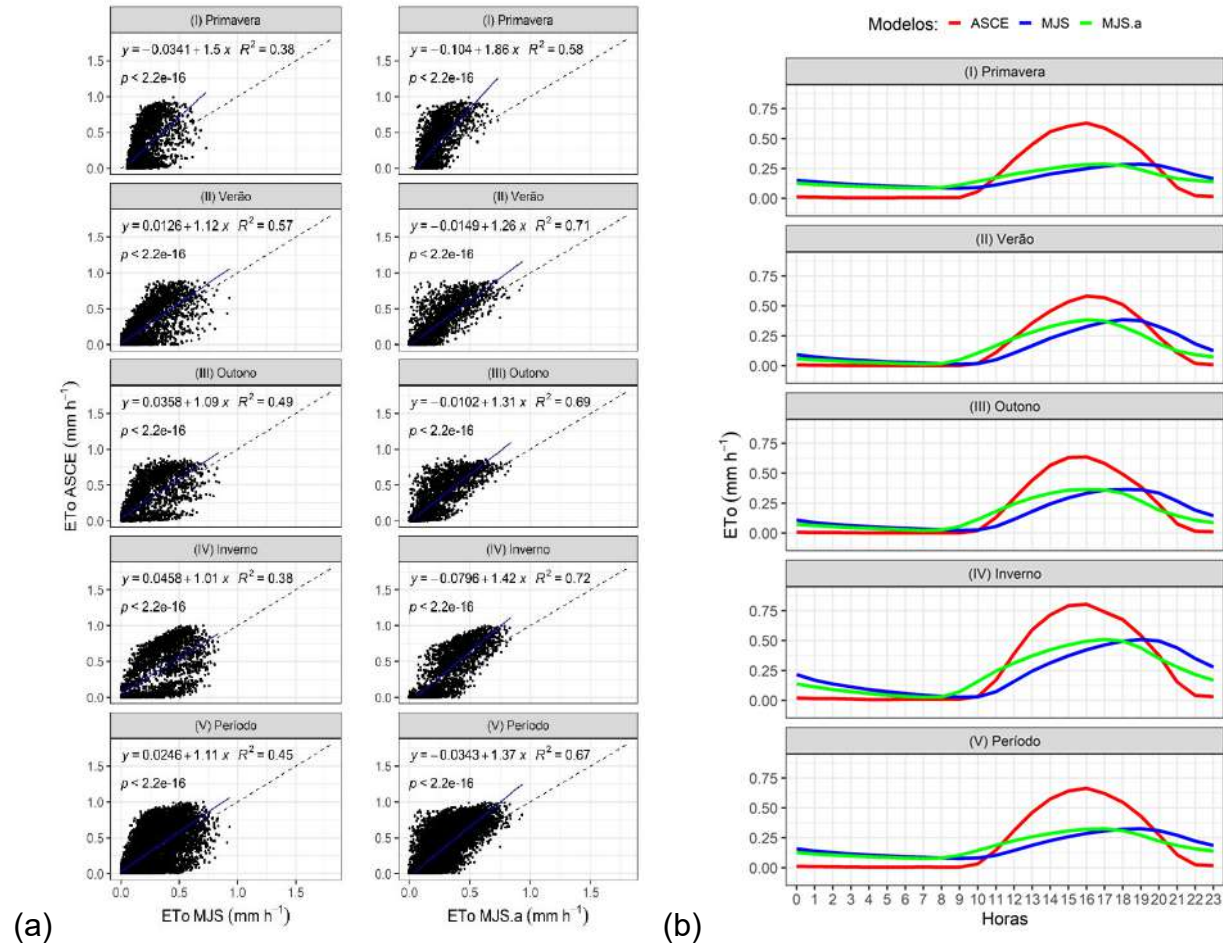
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.36 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE CARACOL (CLIMA *Aw*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



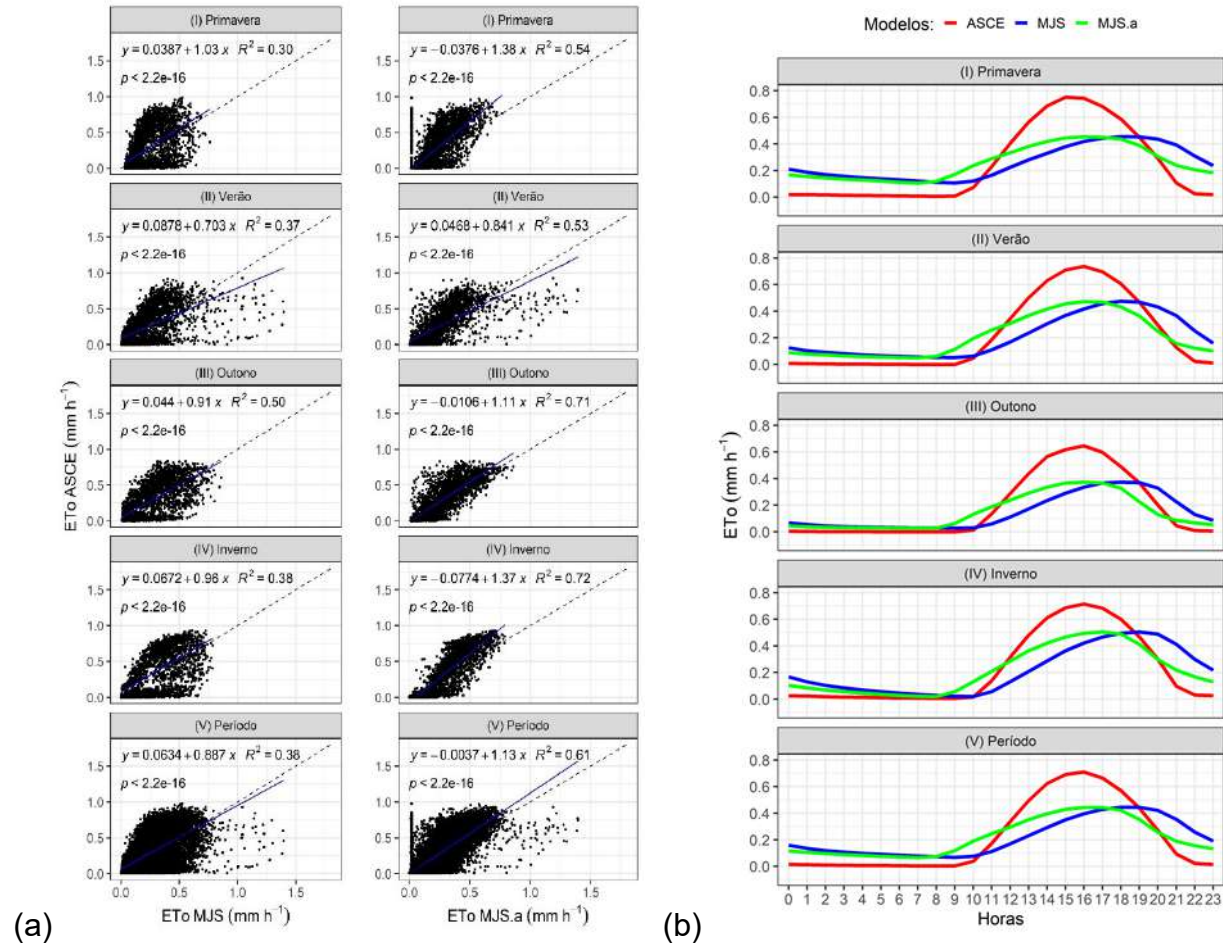
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.37 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE CAROLINA (CLIMA Aw; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



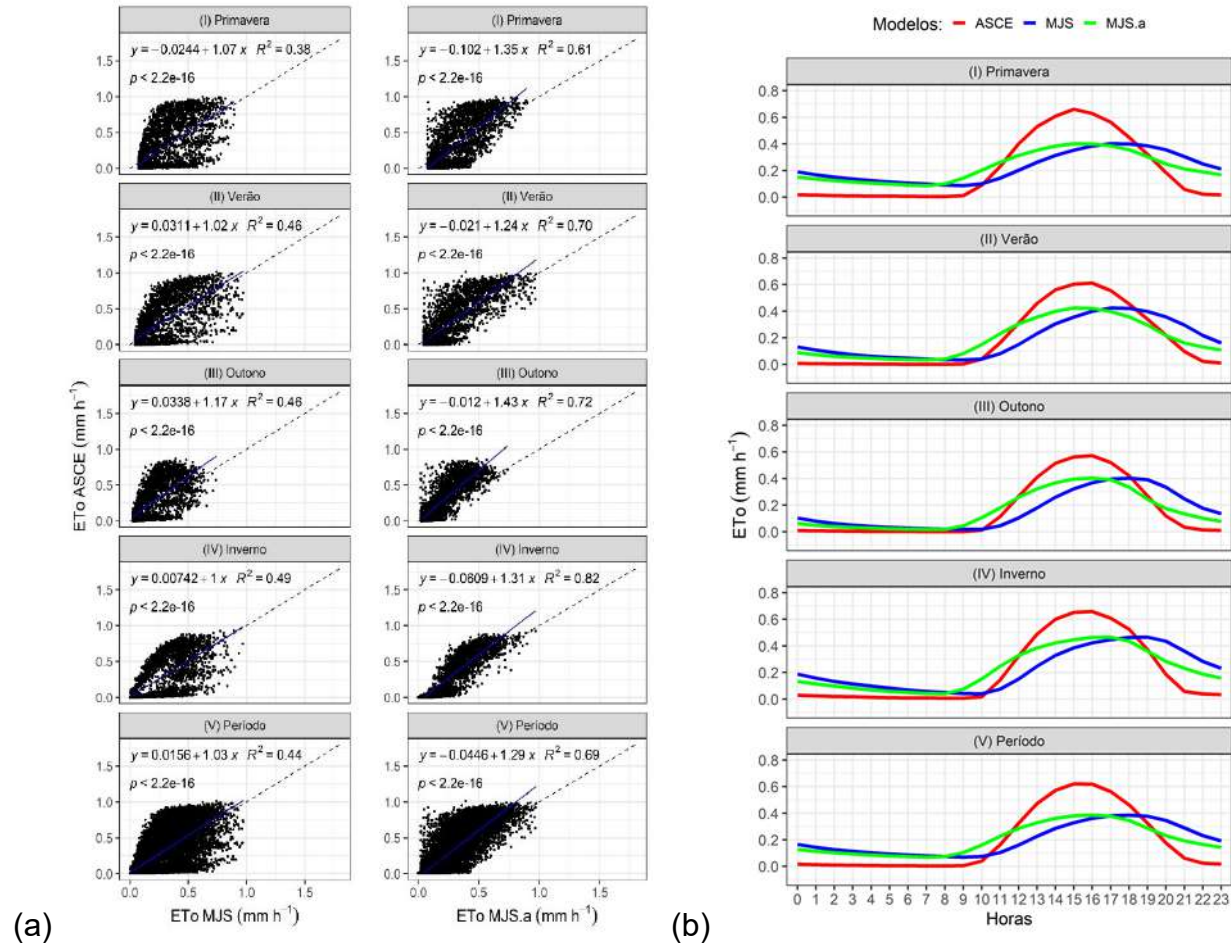
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.38 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE COLINAS (CLIMA A_w ; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



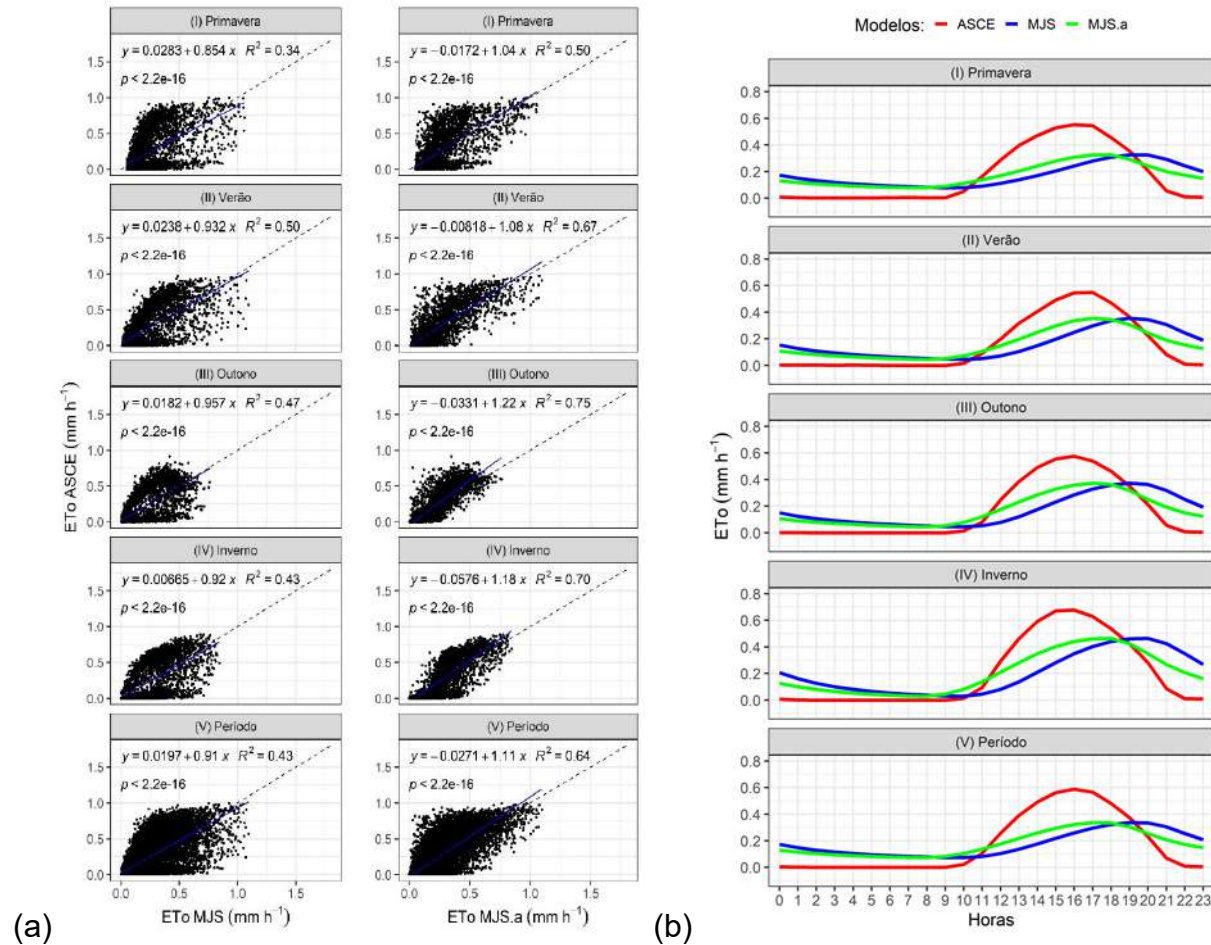
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.39 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE CORRENTINA (CLIMA Aw; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



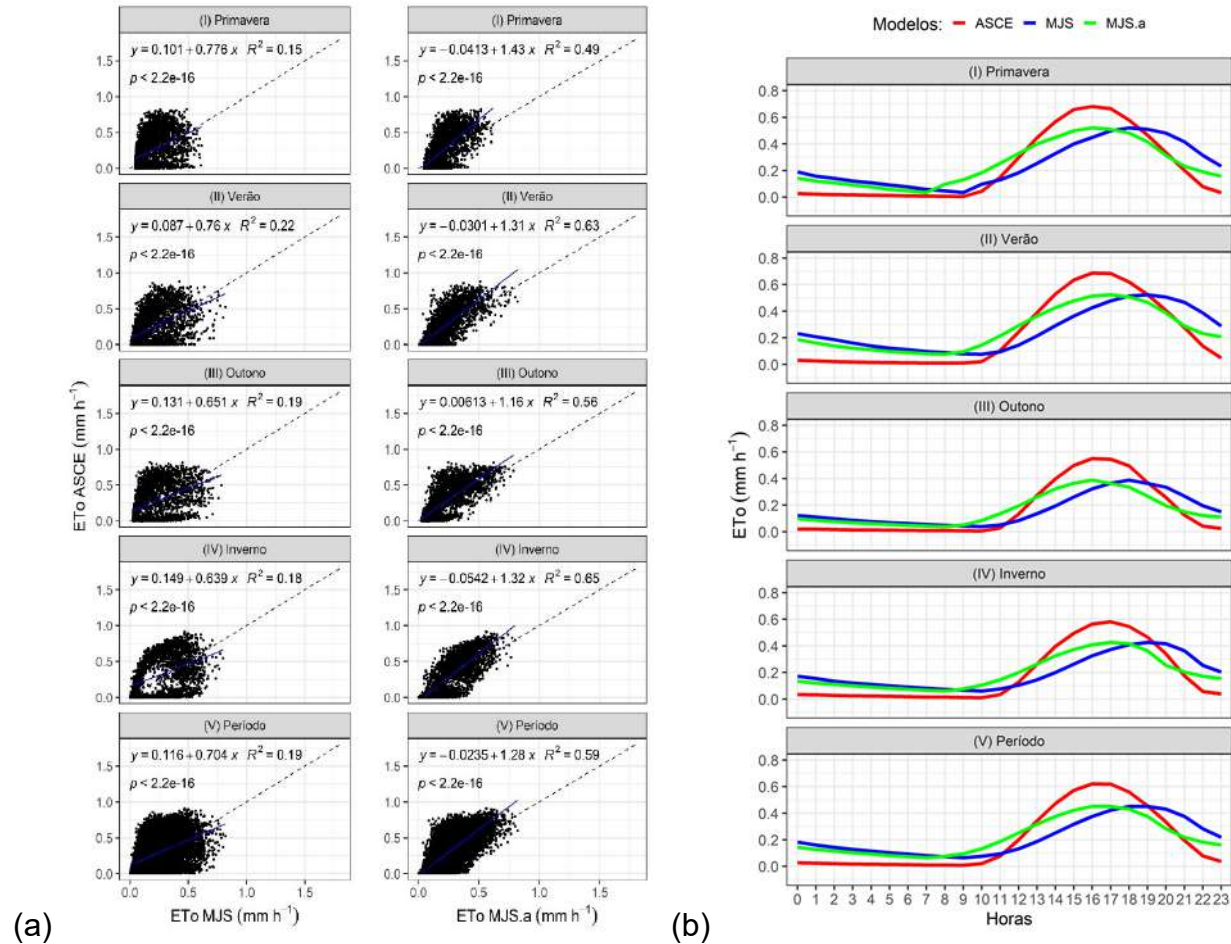
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.40 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE GOIÂNIA (CLIMA Aw; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



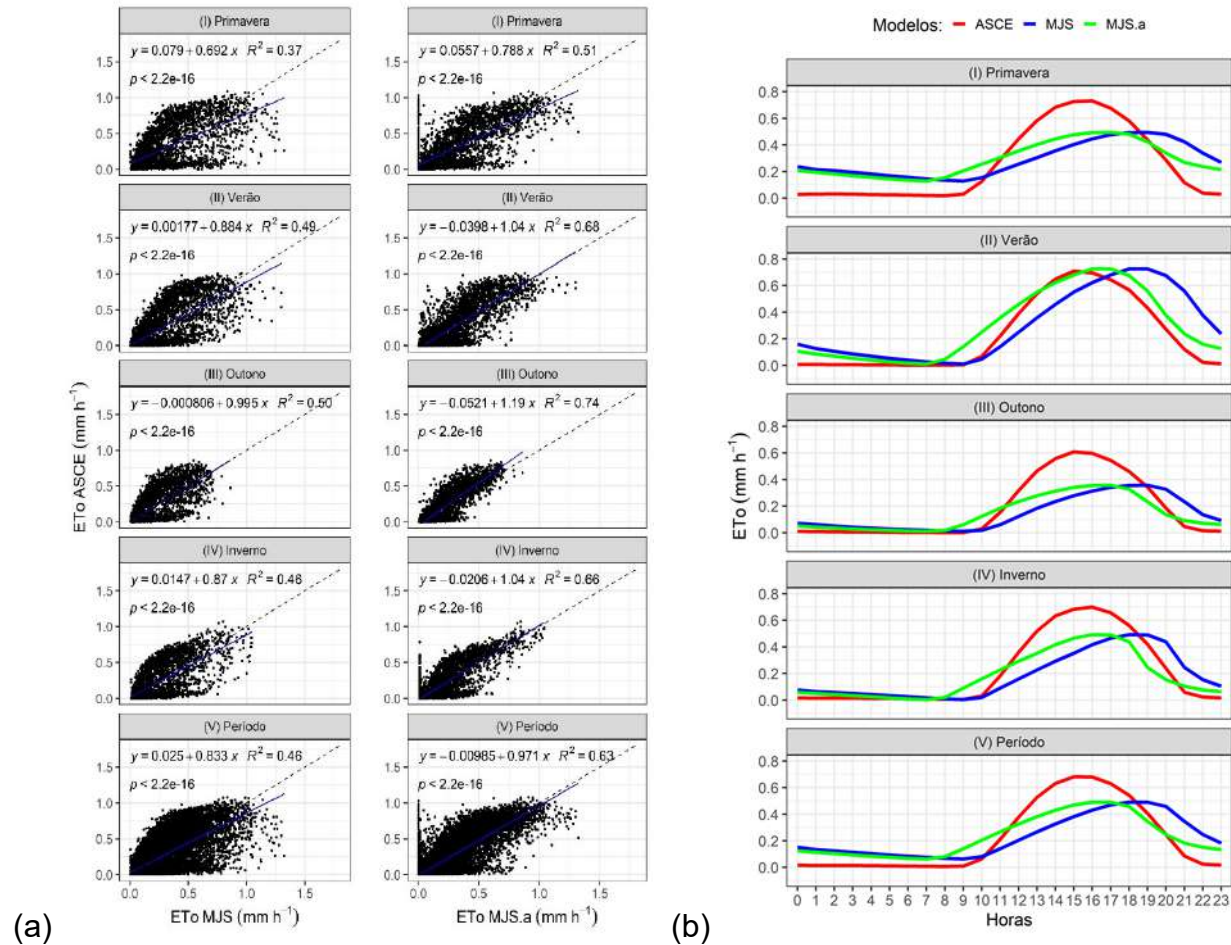
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.41 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE IMPERATRIZ (CLIMA A_w ; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



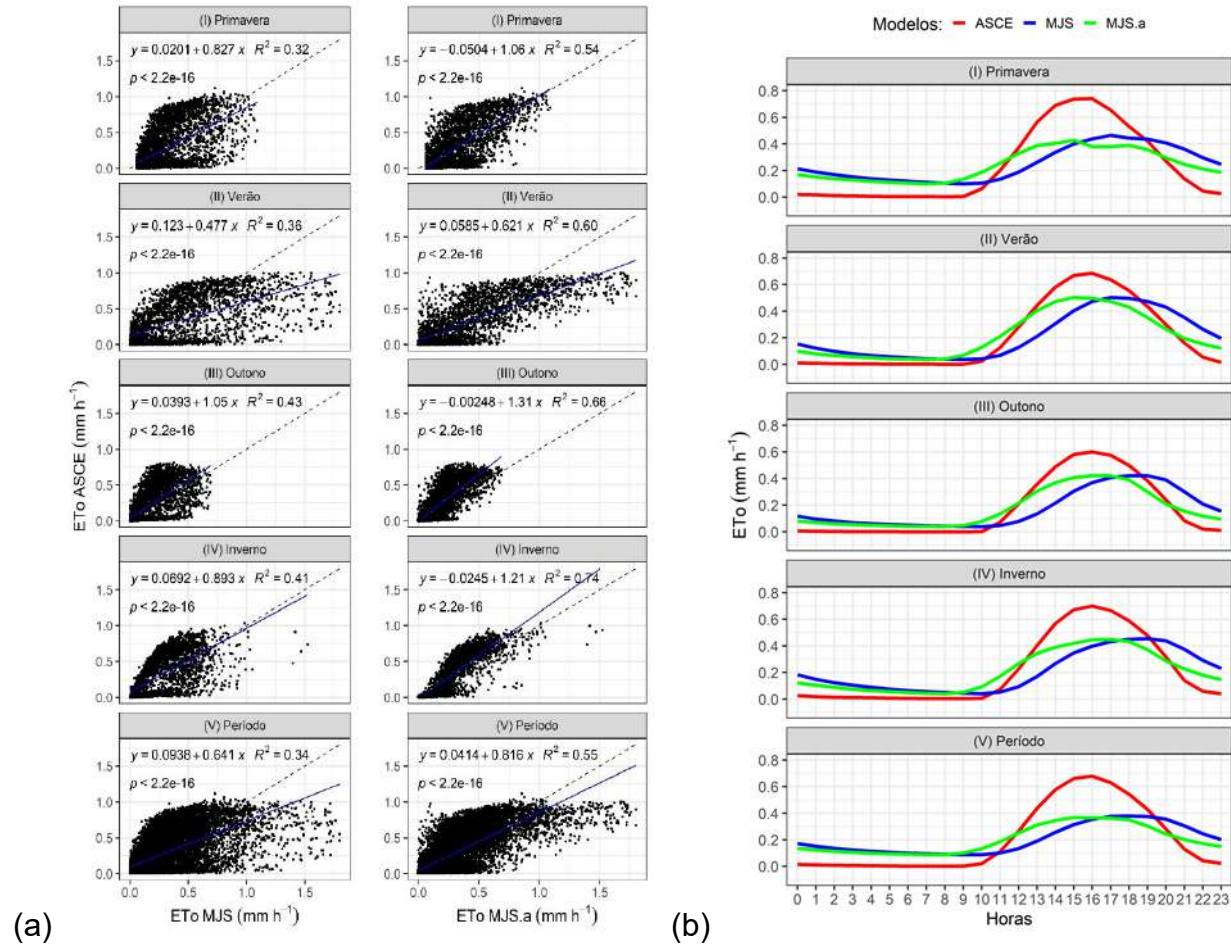
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.42 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE IVINHEMA (CLIMA Aw ; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



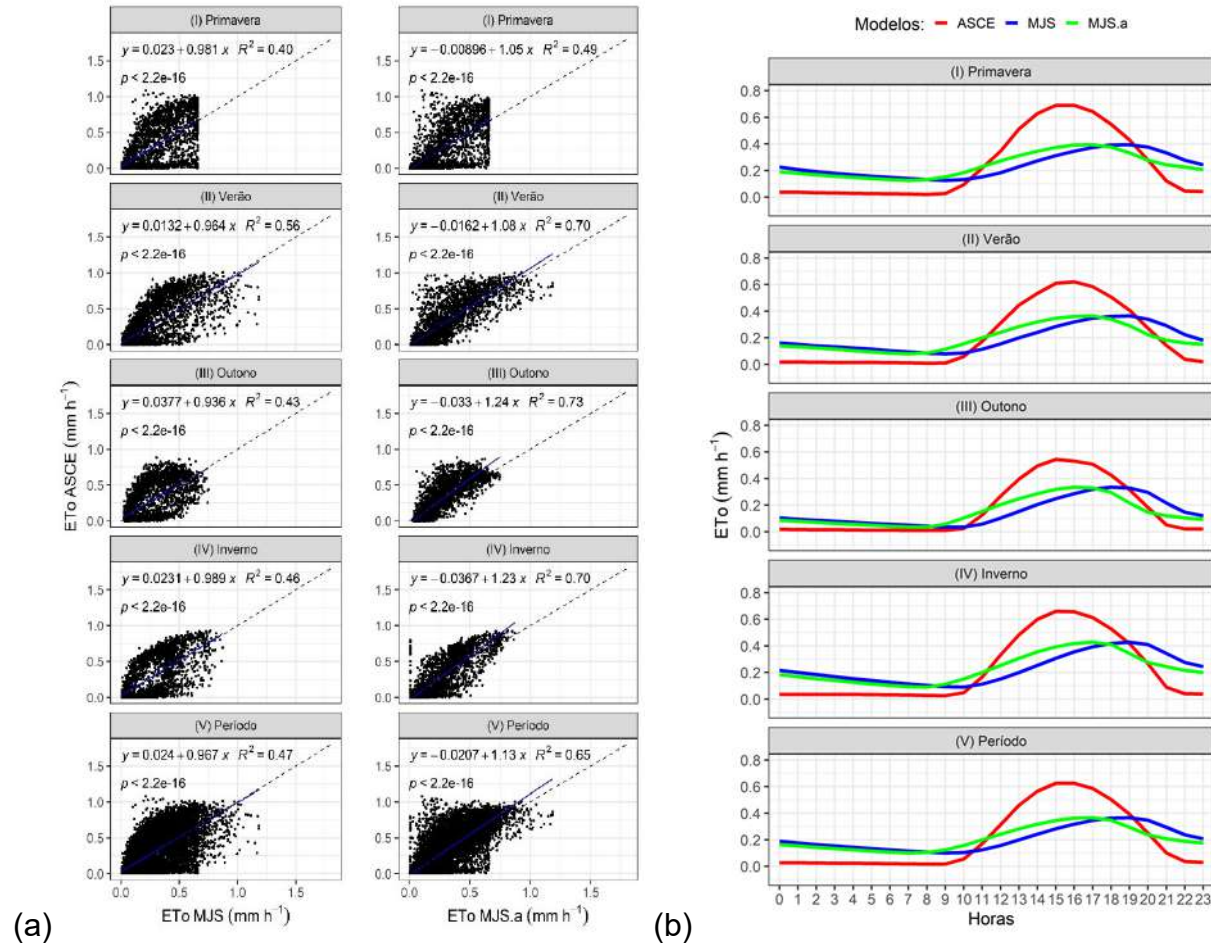
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.43 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE JANUÁRIA (CLIMA Aw; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



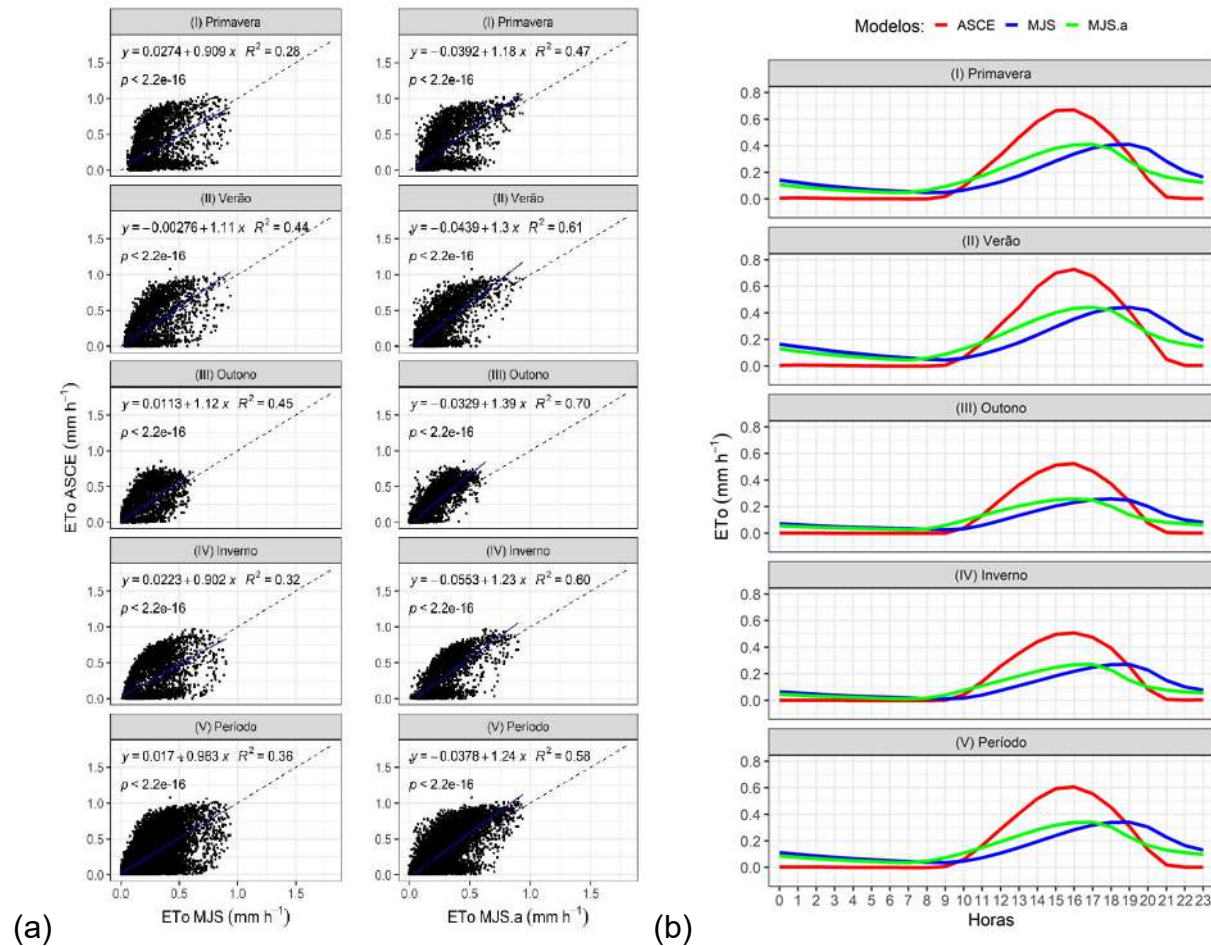
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.44 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE JATAÍ (CLIMA A_w ; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



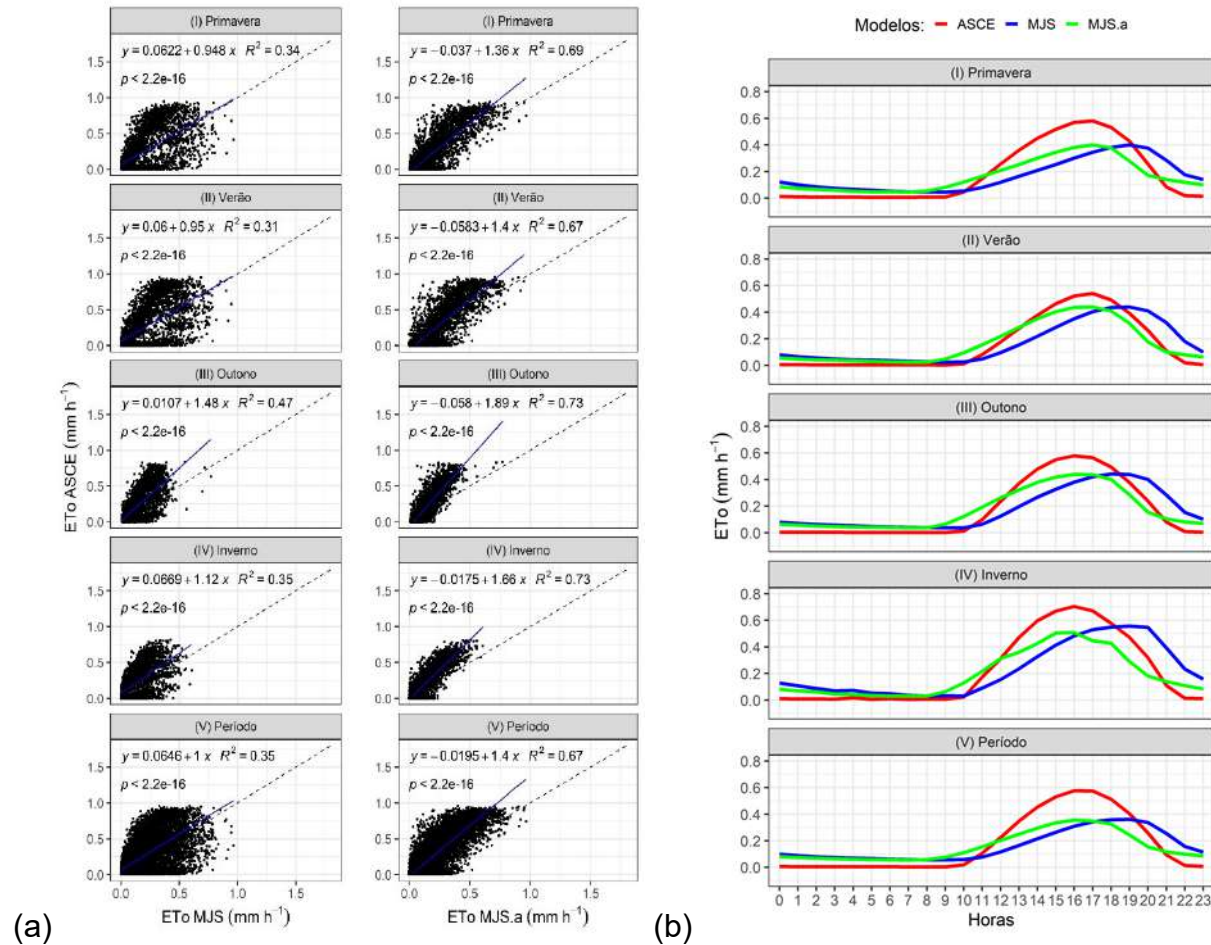
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.45 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE JOÃO PINHEIRO (CLIMA Aw; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



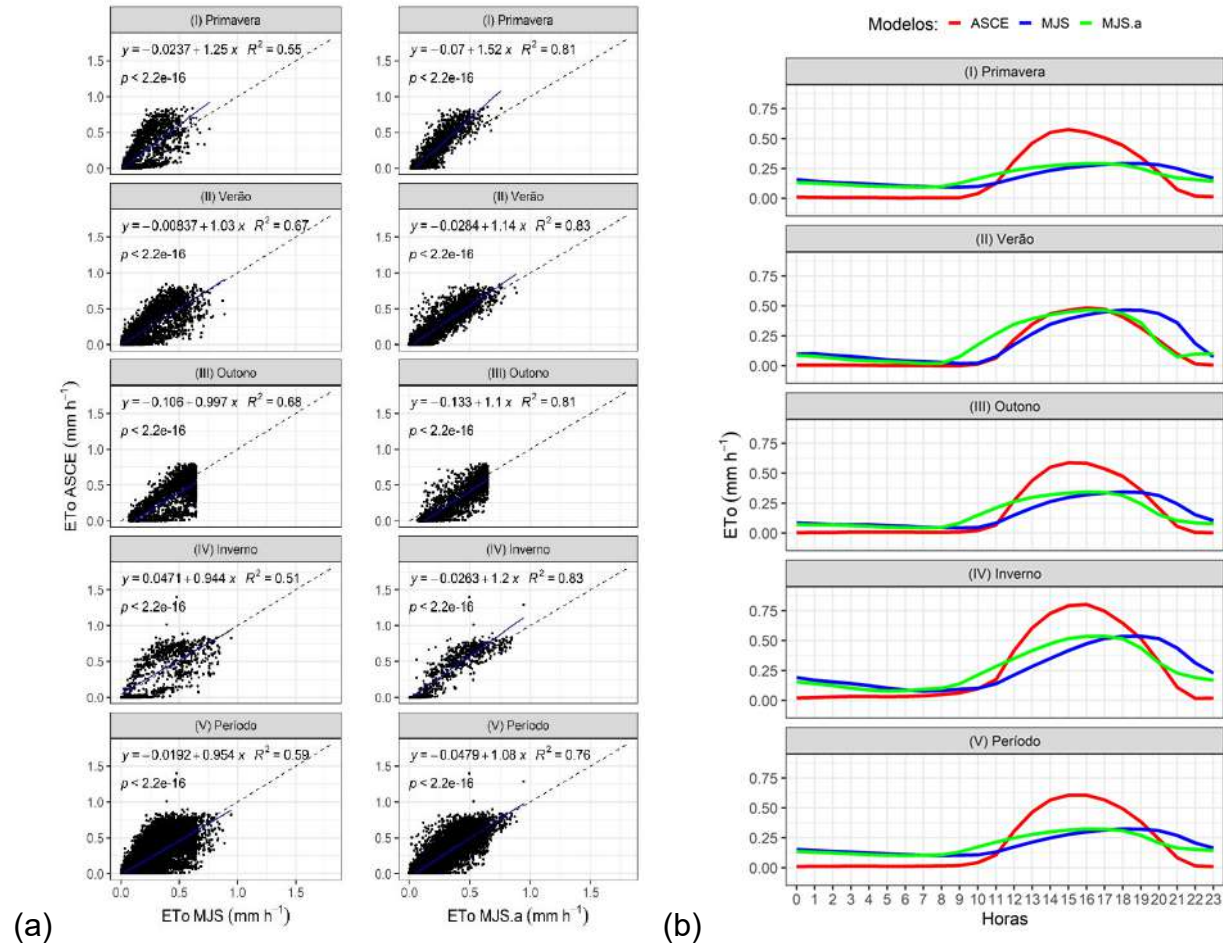
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.46 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE LENÇÓIS (CLIMA Aw; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



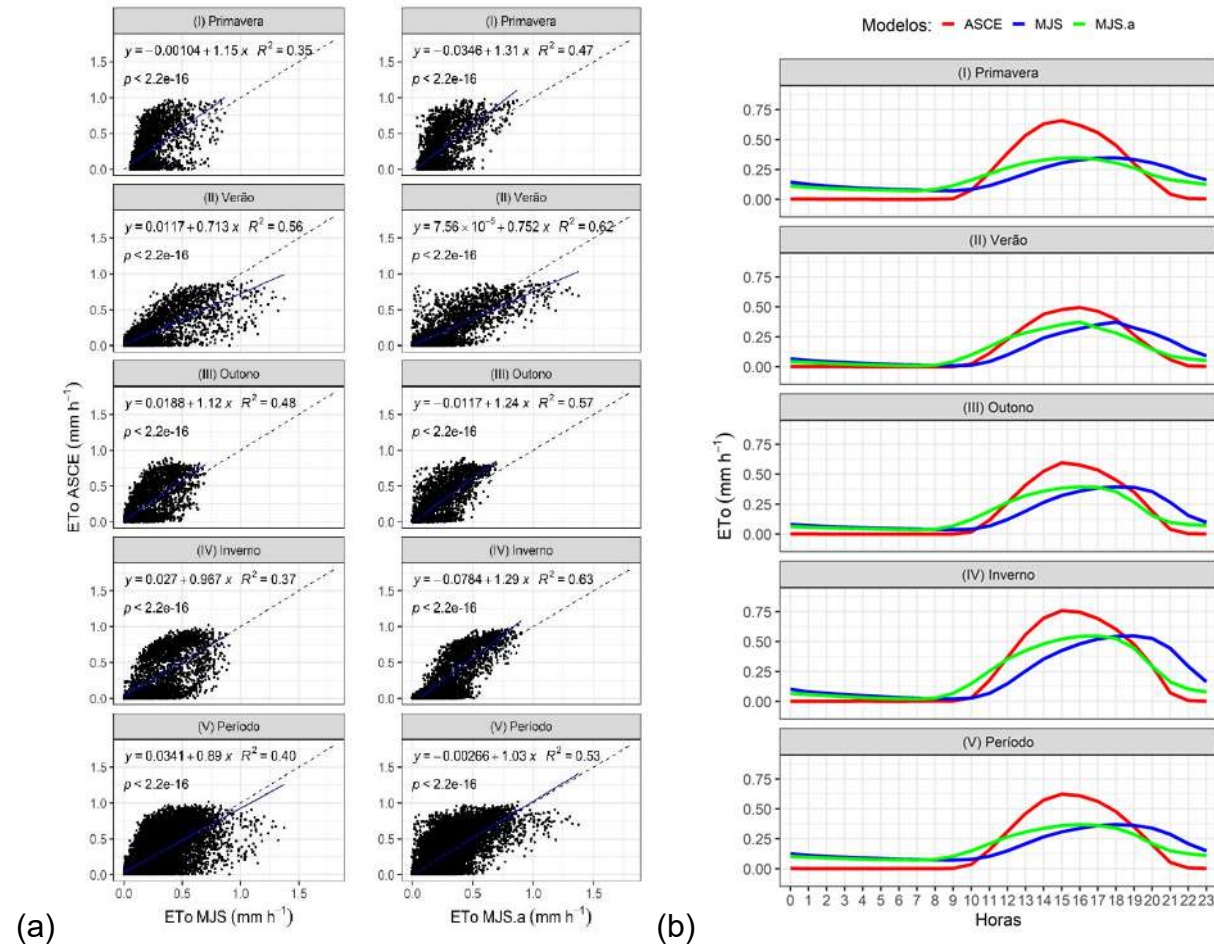
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.47 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE MARABÁ (CLIMA A_w ; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



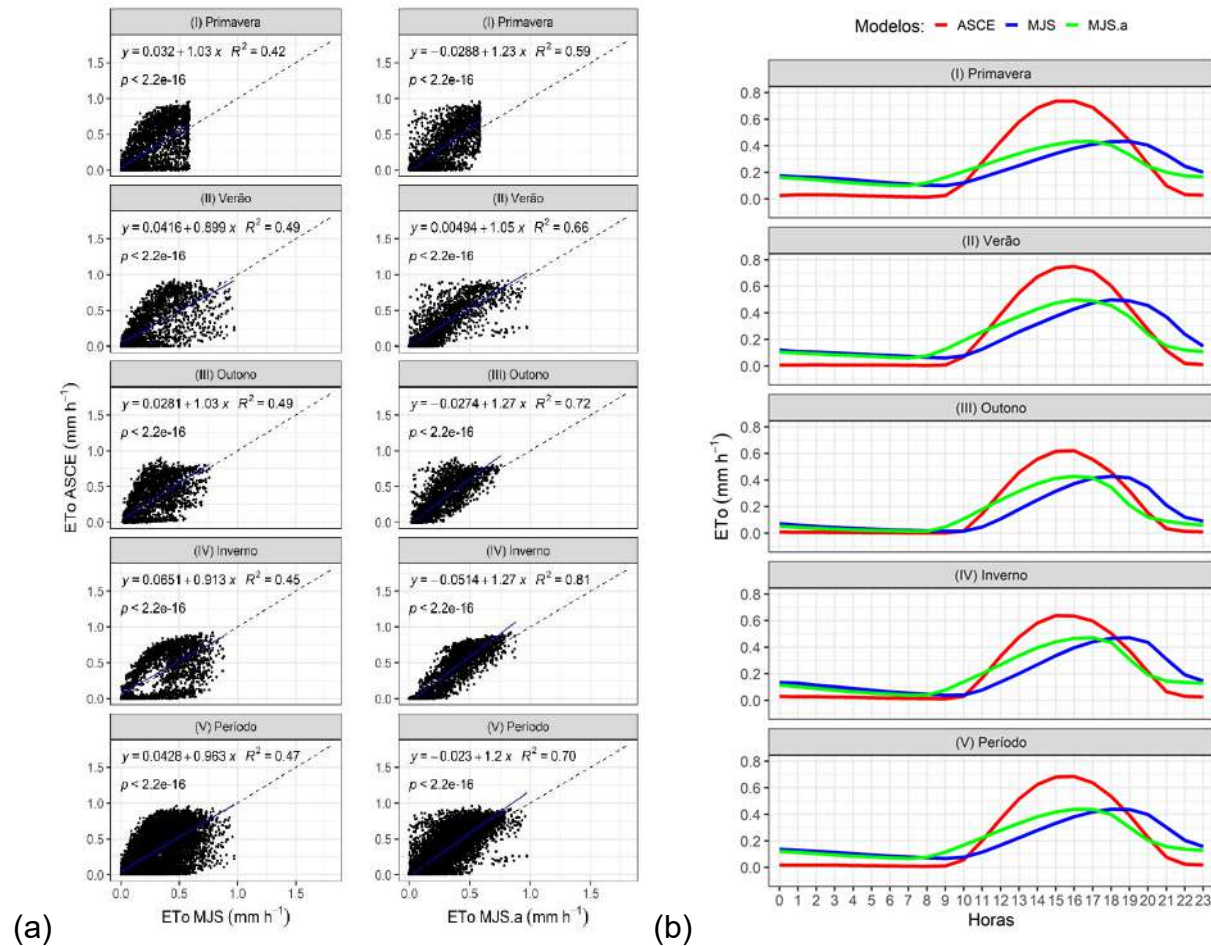
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.48 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PALMAS (CLIMA A_w ; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



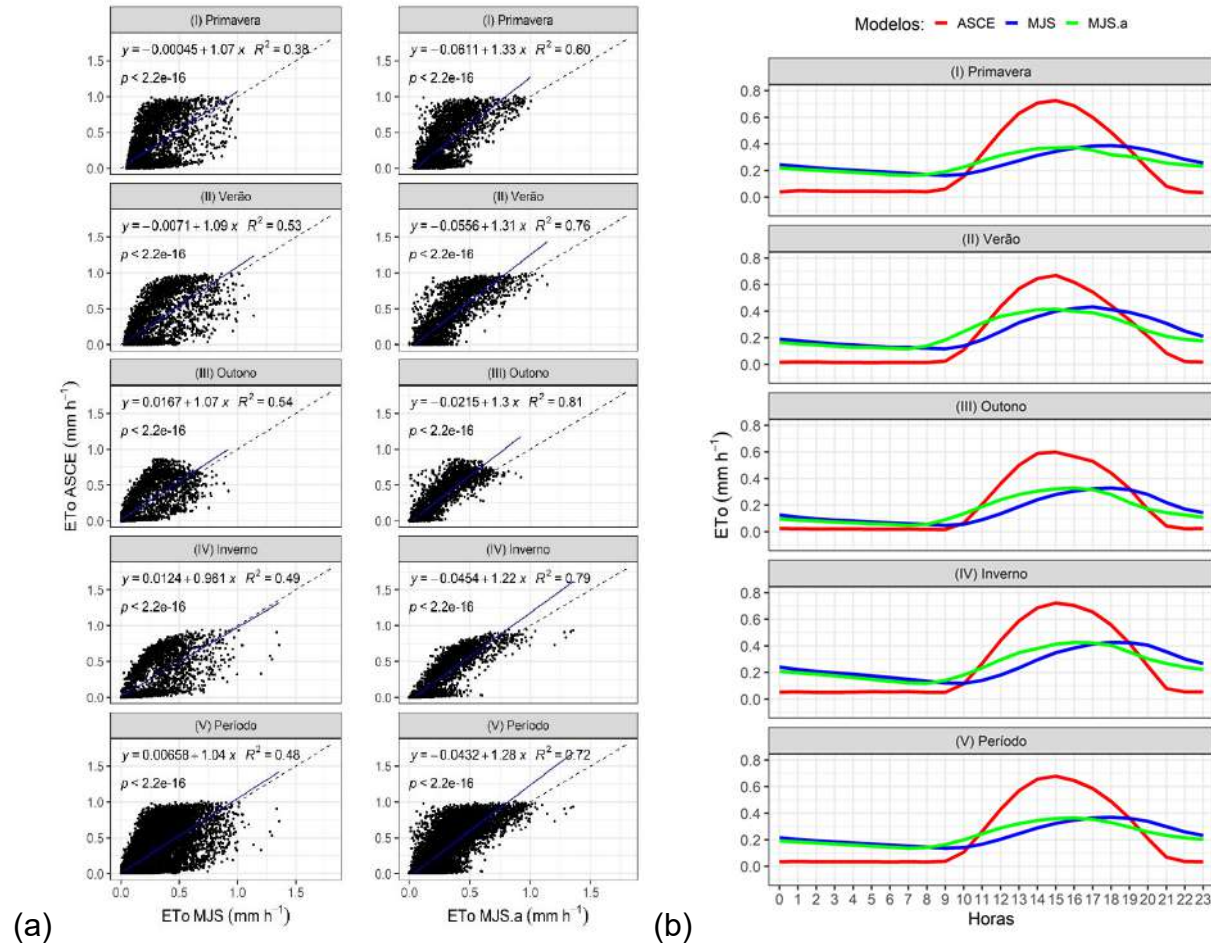
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.49 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PEDRO AFONSO (CLIMA Aw; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



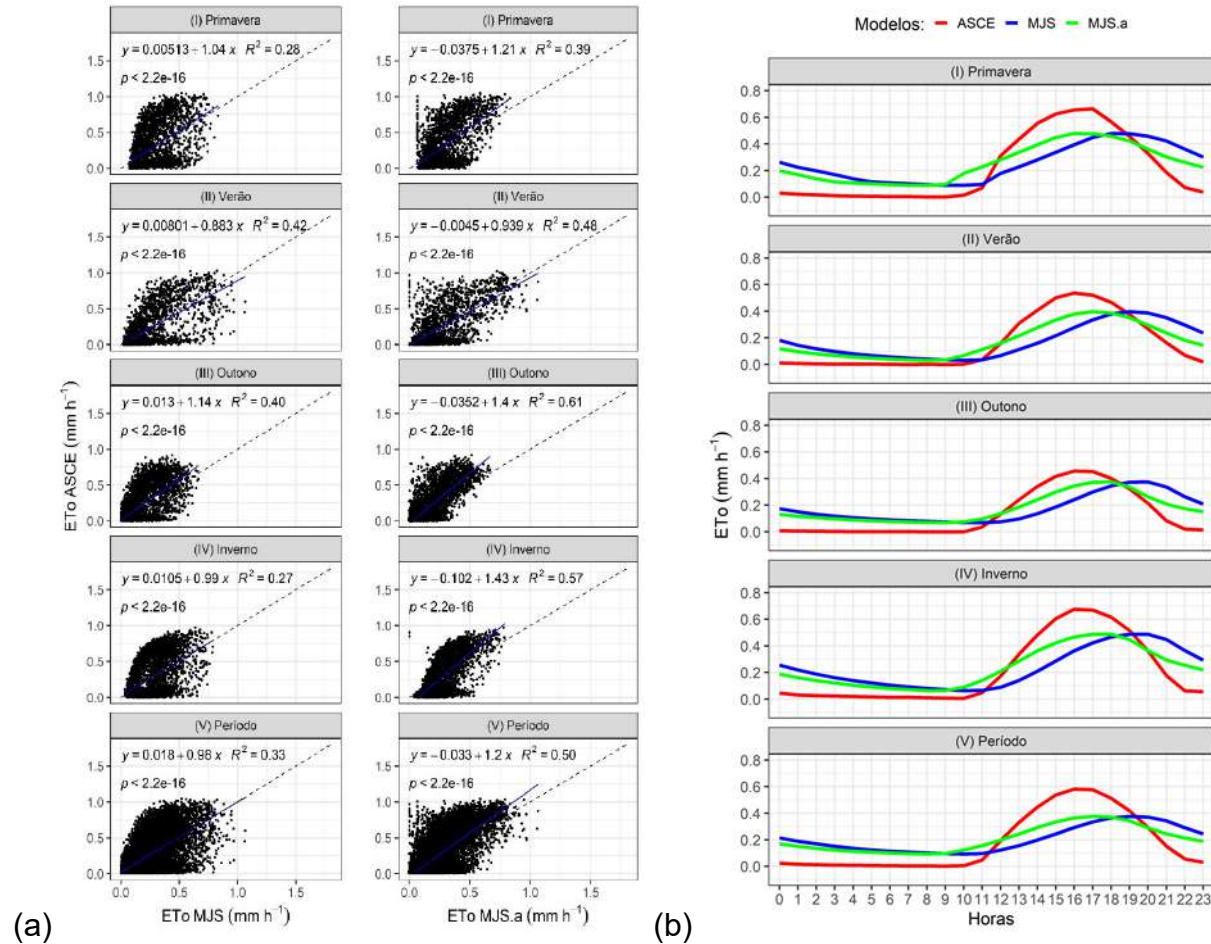
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.50 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PIRAPORA (CLIMA Aw; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



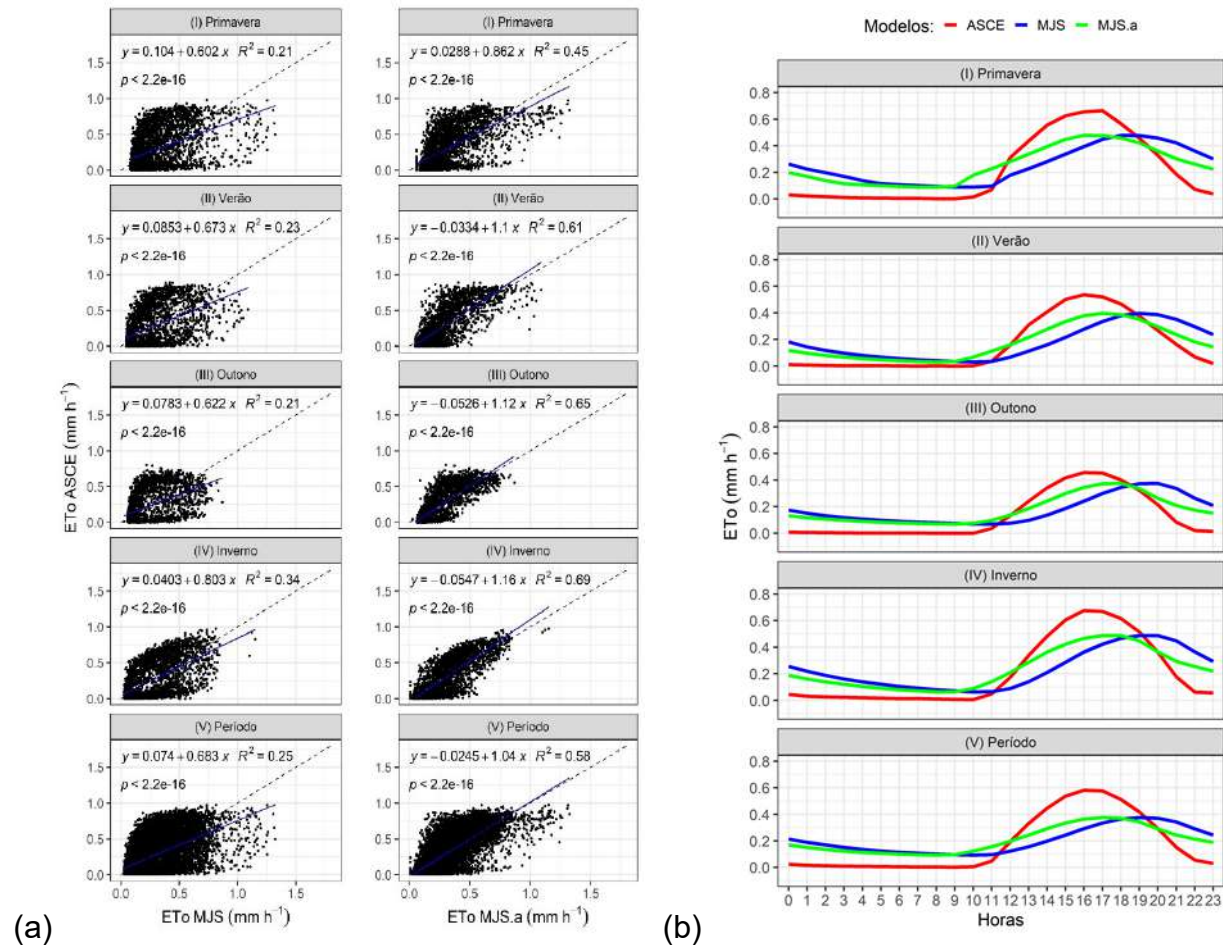
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.51 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE POSSE (CLIMA A_w ; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO:
a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



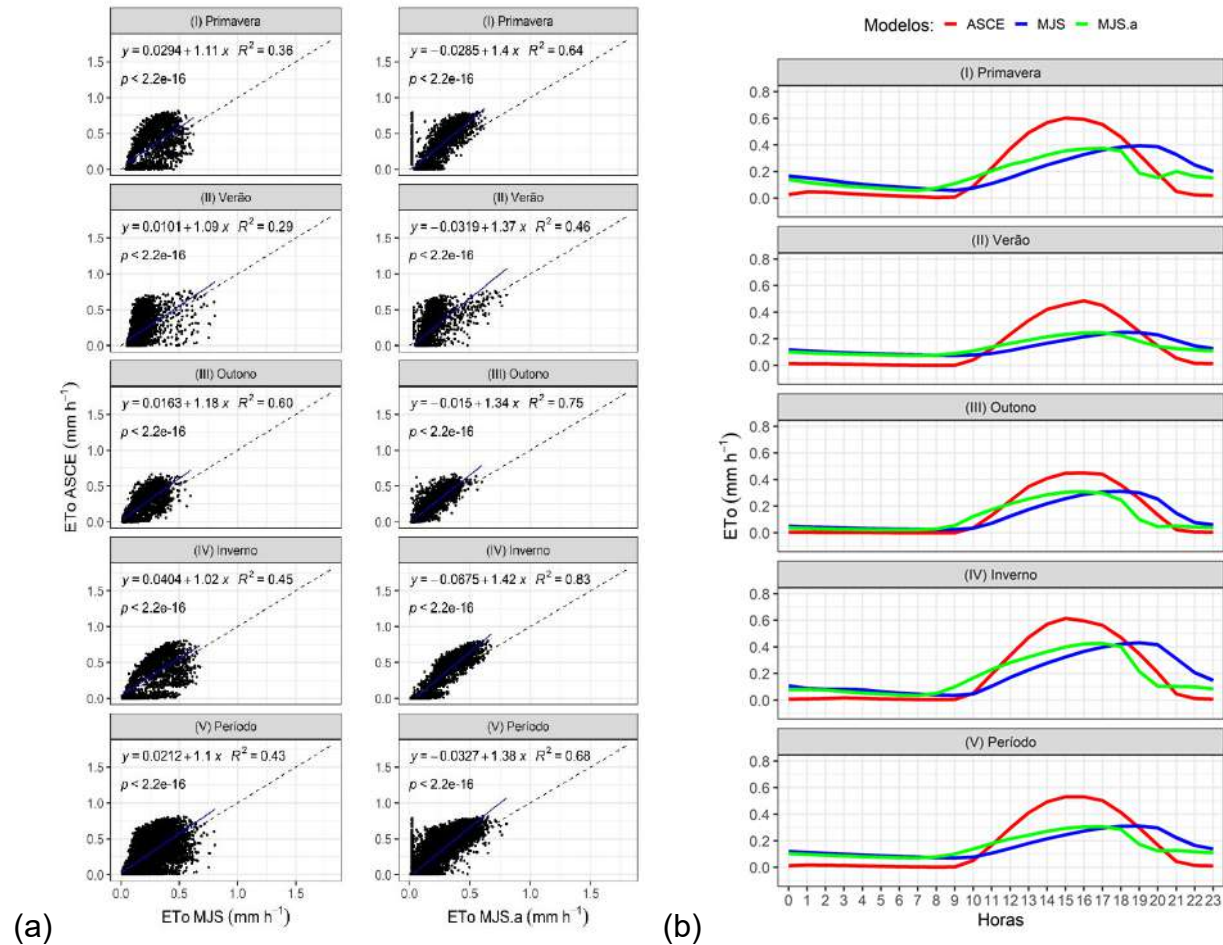
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.52 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE RONDONÓPOLIS (CLIMA Aw; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



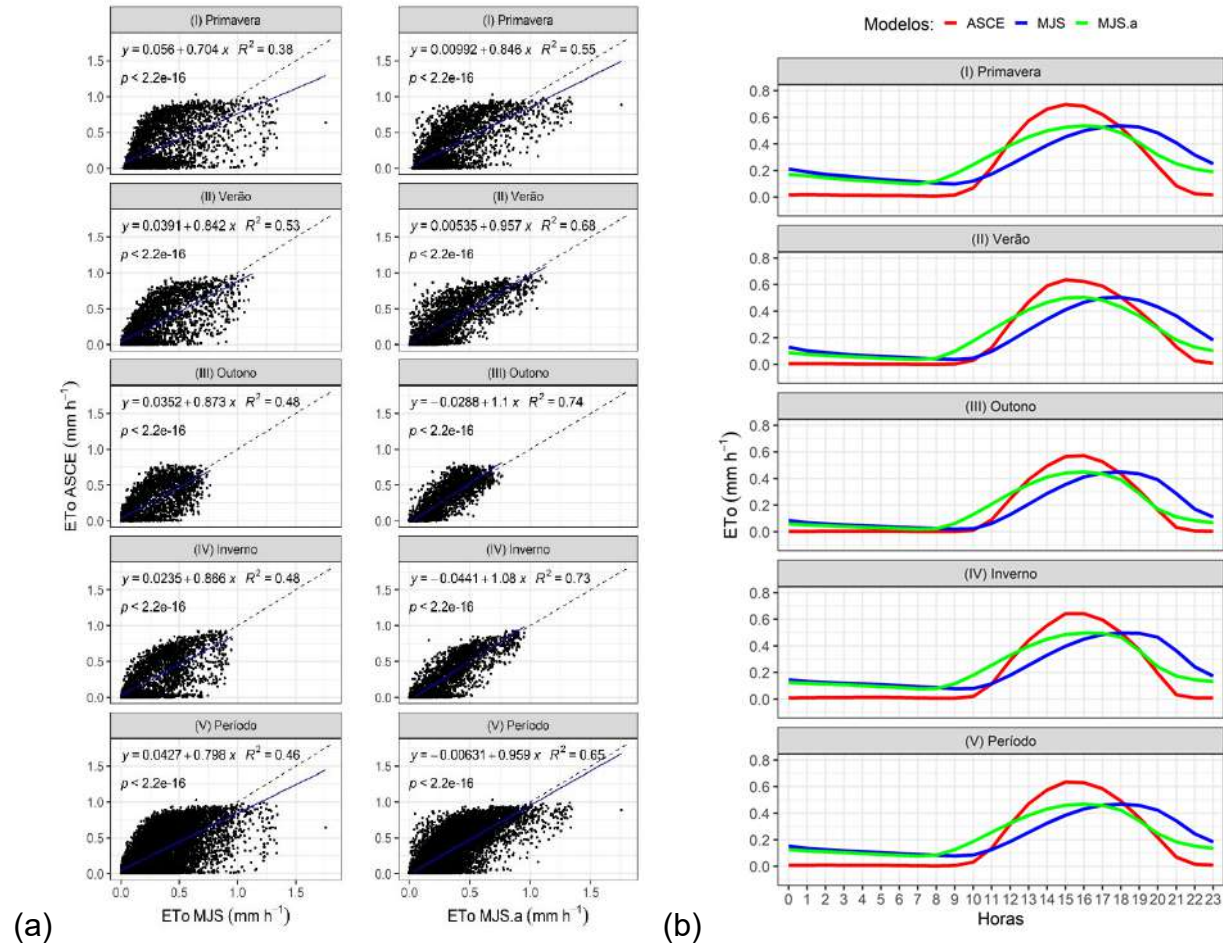
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.53 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE TERESINA (CLIMA Aw; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$), RESPECTIVAMENTE; b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.54 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE VOTUPORANGA (CLIMA A_w ; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$), RESPECTIVAMENTE; b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).

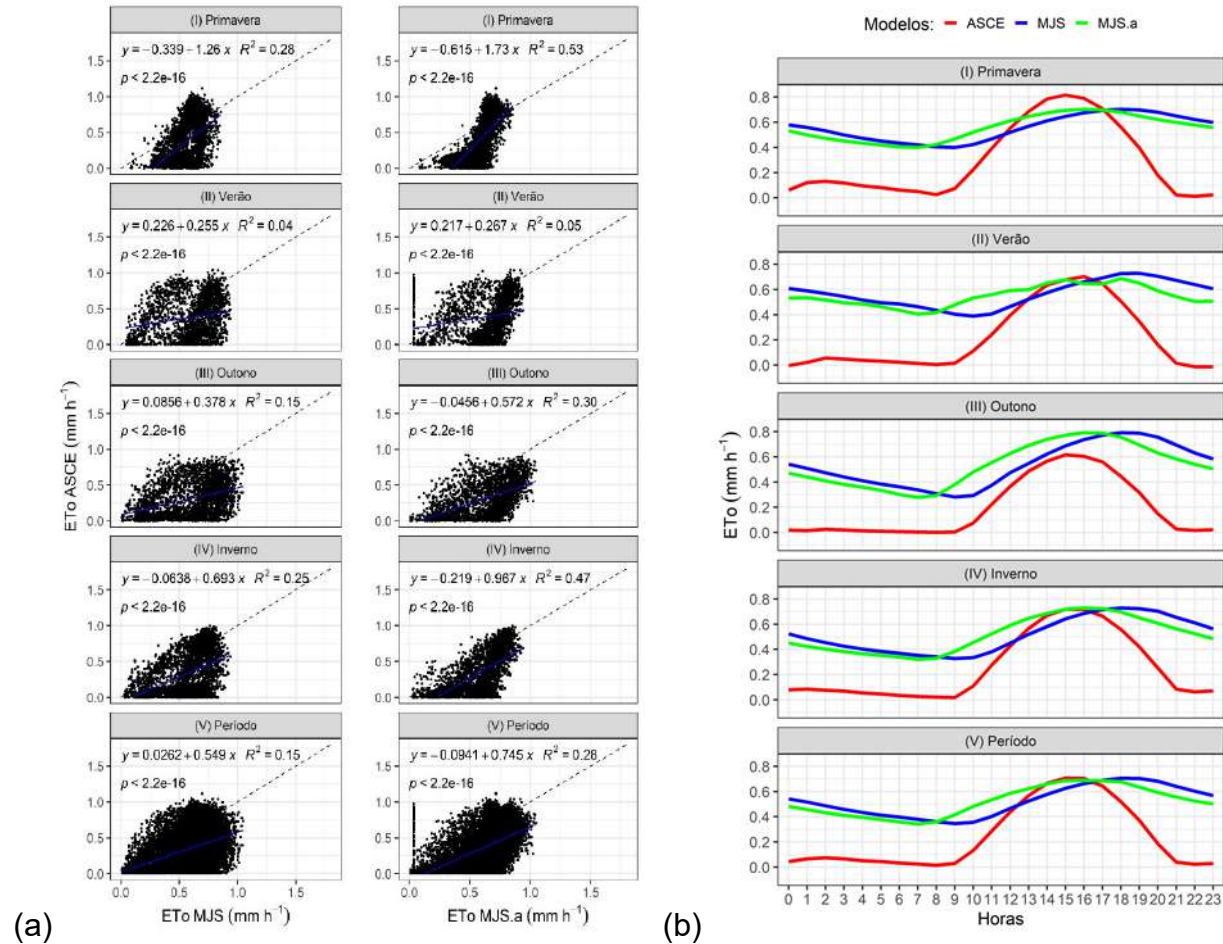


Fonte: O autor (2024).

TABELA A7.5 – INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NA VALIDAÇÃO, DAS ASSOCIAÇÕES ENTRE ET_o HORÁRIAS (ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020) DAS LOCALIDADES DO CLIMA BSh, ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE-PM (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURKI-SILVA, ANTES E APÓS AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE): RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (RMSE; mm h⁻¹); COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL); E, EFICIÊNCIA DE NASH-SUTCLIFFE (NSE; ADIMENSIONAL).

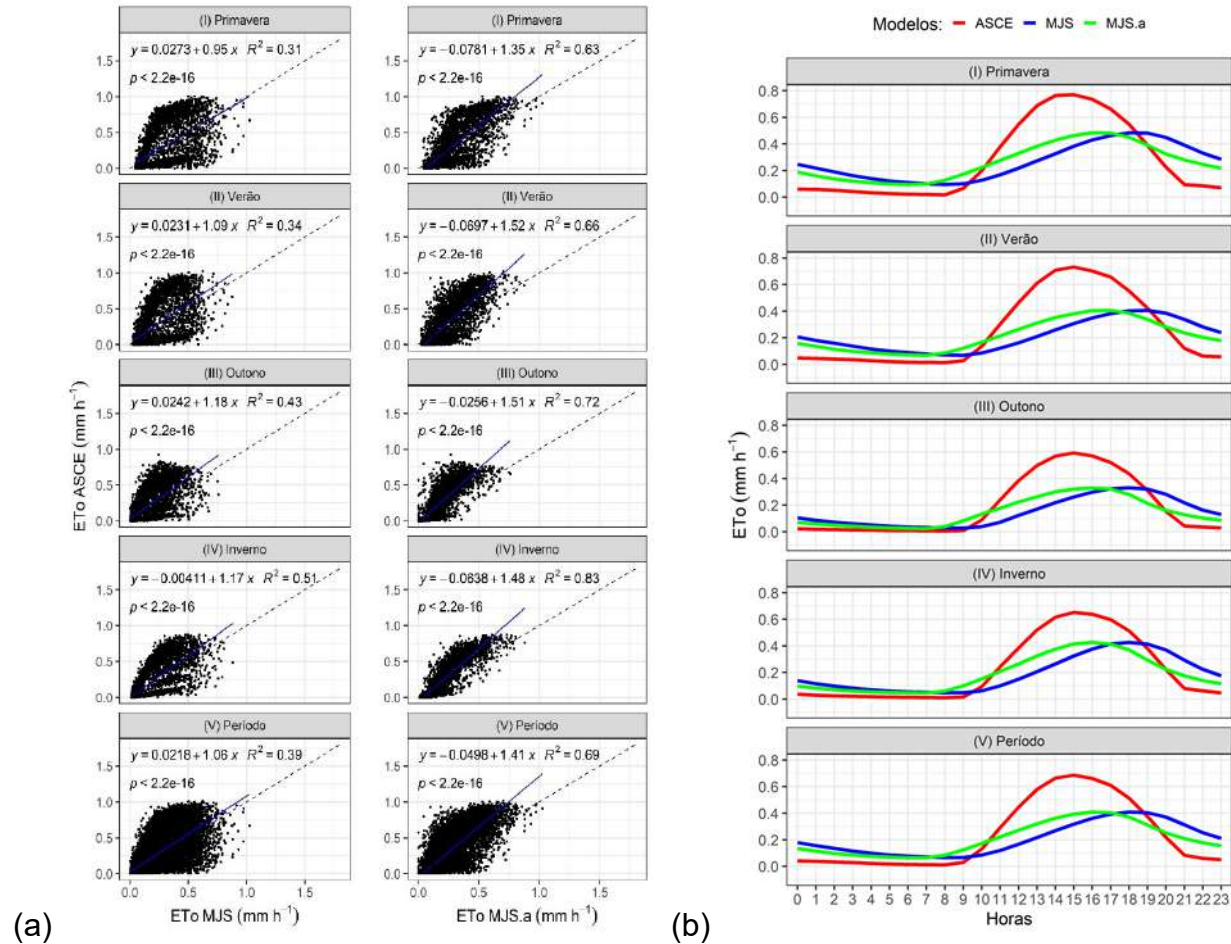
Localidades	Intervalo	Modelo	ET_{oASCE} vs ET_{oMJS}			Ajuste Horas	ET_{oASCE} vs $ET_{oMJS,a}$		
			Antes do ajuste				Após ajuste		
			r	RMSE	NSE		r	RMSE	NSE
Cabrobó	Período	Linear	0.37	0.41	-2.92	2	0.52	0.38	-2.33
	Primavera	Linear	0.43	0.38	-9.37	2	0.66	0.36	-8.18
	Verão	Linear	0.22	0.45	-3.41	2	0.30	0.44	-2.42
	Outono	Linear	0.40	0.44	-1.96	2	0.58	0.41	-1.61
	Inverno	Linear	0.51	0.36	-2.04	2	0.68	0.33	-1.56
Irecê	Período	Linear	0.63	0.21	-0.78	2	0.83	0.17	-0.08
	Primavera	Linear	0.56	0.24	-0.98	2	0.80	0.19	-0.18
	Verão	Linear	0.59	0.24	-1.34	2	0.82	0.19	-0.12
	Outono	Linear	0.66	0.18	-0.97	2	0.85	0.15	-0.26
	Inverno	Linear	0.72	0.18	-0.36	2	0.91	0.13	0.28
Itaberaba	Período	Linear	0.72	0.16	0.07	2	0.89	0.11	0.56
	Primavera	Linear	0.74	0.17	0.25	2	0.92	0.10	0.71
	Verão	Linear	0.71	0.17	0.04	2	0.91	0.11	0.59
	Outono	Linear	0.68	0.15	-0.80	2	0.85	0.12	-0.13
	Inverno	Linear	0.72	0.13	0.02	2	0.79	0.10	0.50
Macau	Período	Linear	0.81	0.17	0.52	1	0.83	0.16	0.58
	Primavera	Linear	0.80	0.19	0.43	1	0.75	0.21	0.34
	Verão	Linear	0.79	0.16	0.48	1	0.81	0.16	0.52
	Outono	Linear	0.78	0.17	0.42	1	0.84	0.15	0.57
	Inverno	Linear	0.82	0.17	0.58	1	0.88	0.14	0.73
Monteiro	Período	Linear	0.66	0.21	-0.36	2	0.87	0.15	0.30
	Primavera	Linear	0.62	0.24	-0.36	2	0.90	0.15	0.46
	Verão	Quadrático	0.64	0.21	-0.22	2	0.81	0.16	0.26
	Outono	Linear	0.68	0.19	-0.73	2	0.86	0.15	-0.09
	Inverno	Linear	0.75	0.17	0.10	2	0.92	0.12	0.57
Ouricuri	Período	Linear	0.60	0.23	-1.04	2	0.79	0.19	-0.31
	Primavera	Linear	0.41	0.29	-2.65	2	0.68	0.24	-1.05
	Verão	Linear	0.59	0.24	-2.05	2	0.75	0.21	-1.01
	Outono	Linear	0.63	0.19	-1.39	2	0.80	0.17	-0.69
	Inverno	Linear	0.63	0.21	-0.92	2	0.88	0.15	-0.03
Paulistana	Período	Linear	0.53	0.28	-1.91	2	0.75	0.23	-0.98
	Primavera	Linear	0.31	0.33	-4.75	2	0.66	0.28	-2.51
	Verão	Linear	0.56	0.26	-1.68	2	0.73	0.23	-0.98
	Outono	Linear	0.60	0.23	-1.74	2	0.79	0.20	-0.95
	Inverno	Linear	0.53	0.27	-2.18	2	0.81	0.21	-1.00
Petrolina	Período	Linear	0.55	0.18	-1.67	2	0.79	0.15	-0.72
	Primavera	Linear	0.43	0.21	-2.32	2	0.74	0.14	-1.09
	Verão	Linear	0.51	0.19	-2.98	2	0.76	0.16	-1.81
	Outono	Linear	0.62	0.15	-1.41	2	0.82	0.13	-0.60
	Inverno	Linear	0.64	0.16	-0.86	2	0.87	0.12	-0.05
Remanso	Período	Linear	0.58	0.26	-1.32	2	0.74	0.22	-0.69
	Primavera	Linear	0.50	0.30	-1.99	2	0.70	0.25	-1.18
	Verão	Linear	0.58	0.27	-1.29	2	0.75	0.23	-0.68
	Outono	Linear	0.60	0.23	-1.08	2	0.73	0.20	-0.62
	Inverno	Linear	0.64	0.23	-1.31	2	0.84	0.19	-0.52
Média clima BSh	Período	Linear	0.64	0.21	-0.81	2	0.81	0.17	-0.17
	Primavera	Linear	0.55	0.25	-1.55	2	0.77	0.20	-0.56
	Verão	Linear	0.62	0.22	-1.13	2	0.79	0.18	-0.40
	Outono	Linear	0.66	0.19	-0.96	2	0.82	0.16	-0.35
	Inverno	Linear	0.68	0.19	-0.62	2	0.86	0.15	0.06

FIGURA A7.55 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE CABROBÓ (CLIMA *ASH*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$); RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



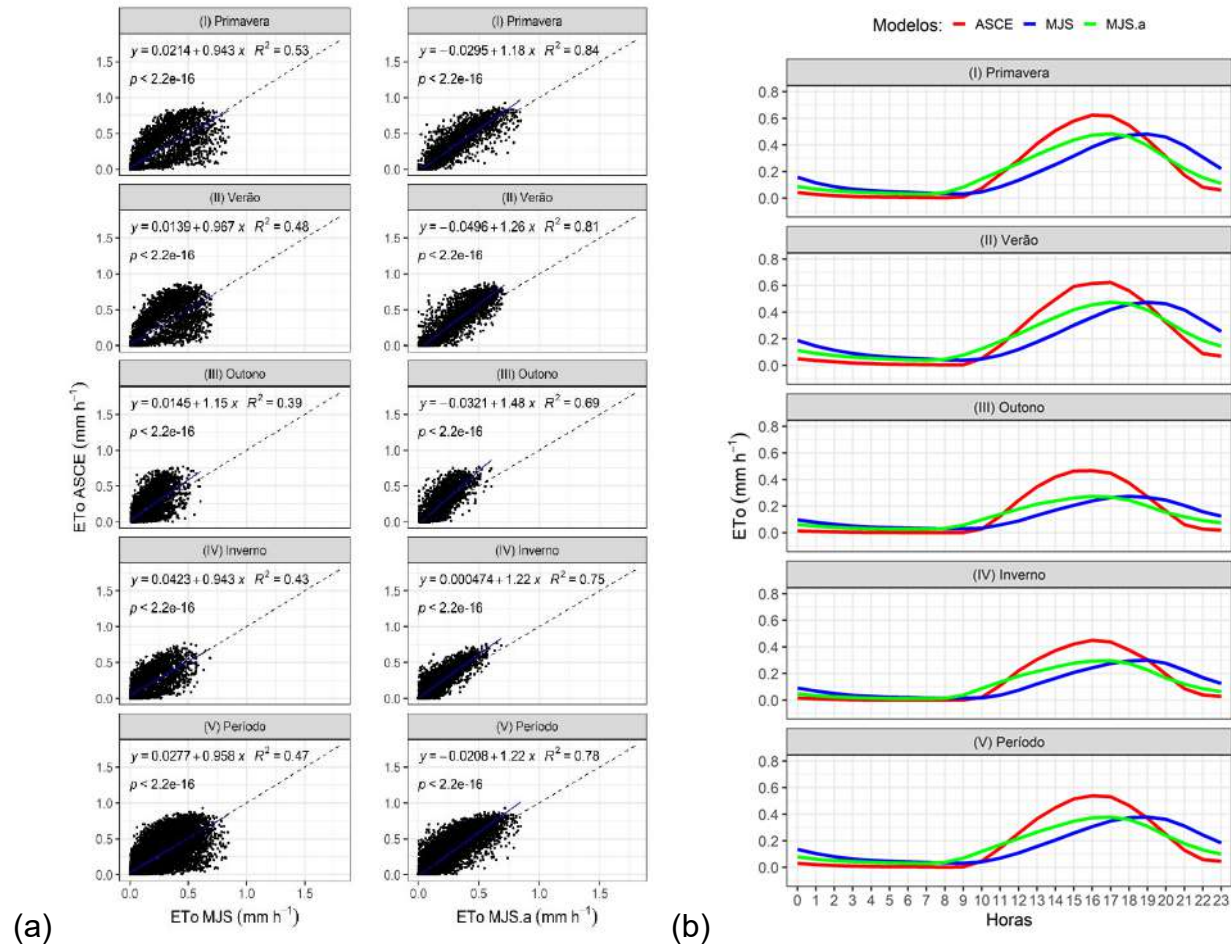
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.56 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE IRECÊ (CLIMA ASH; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



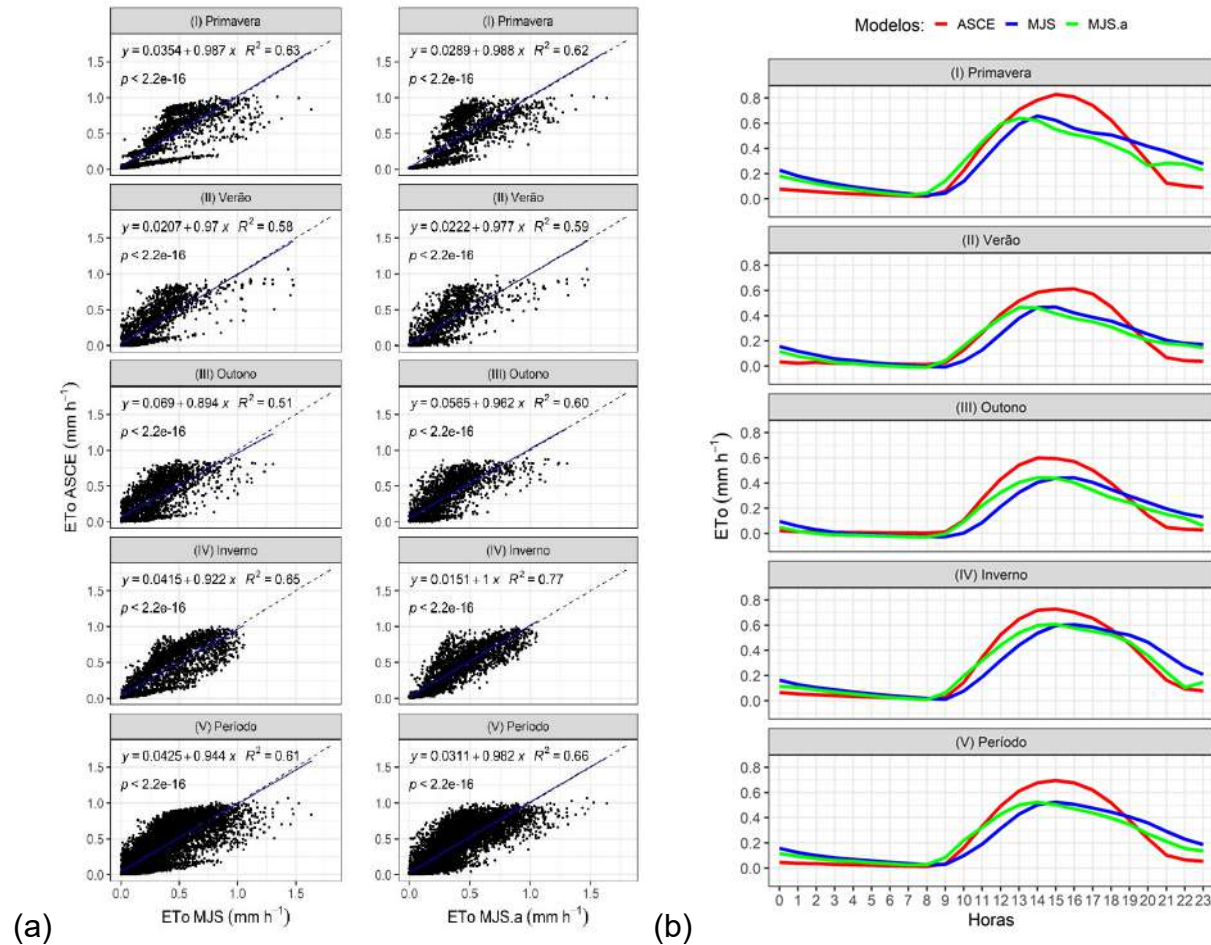
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.57 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE ITABERABA (CLIMA *ASH*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



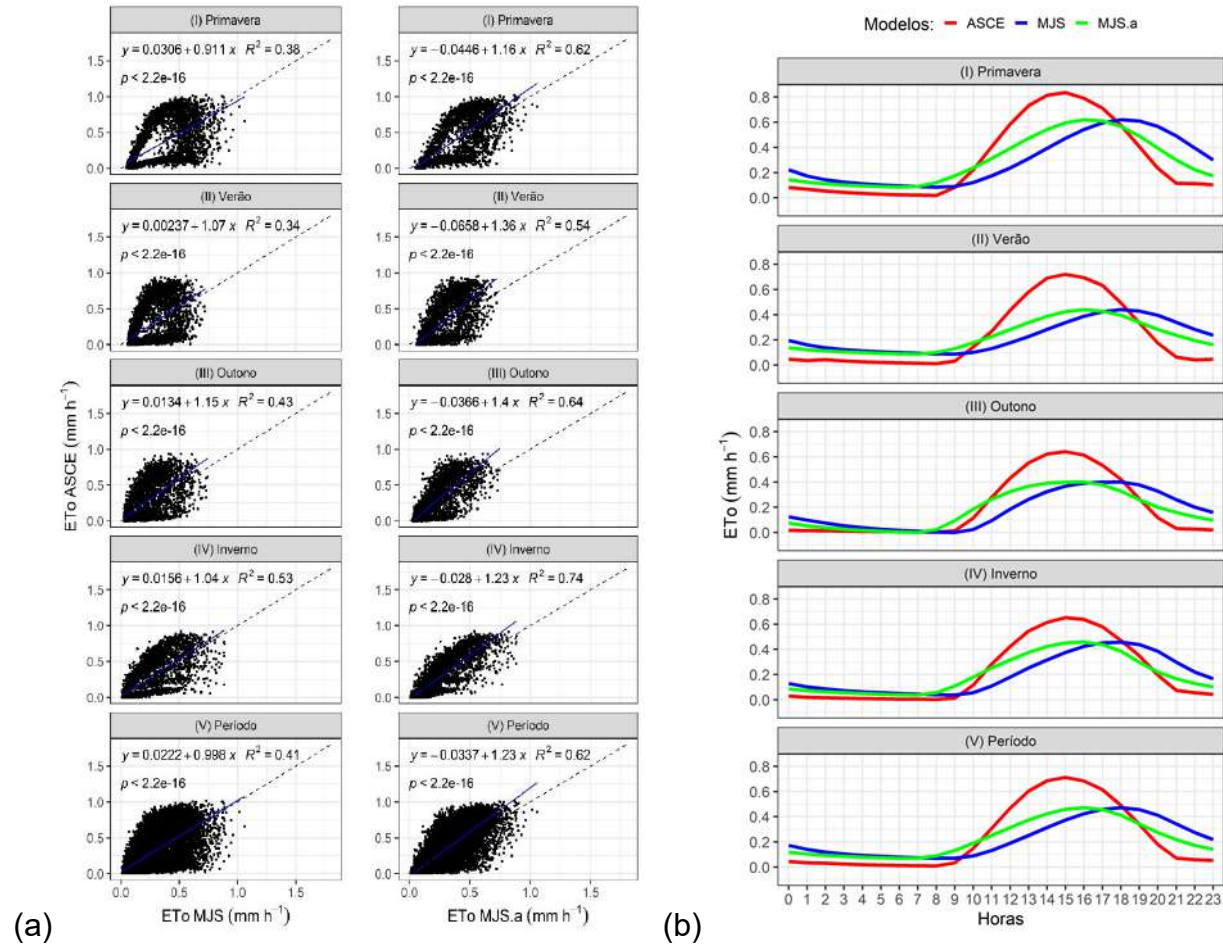
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.58 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE MACAU (CLIMA ASH; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



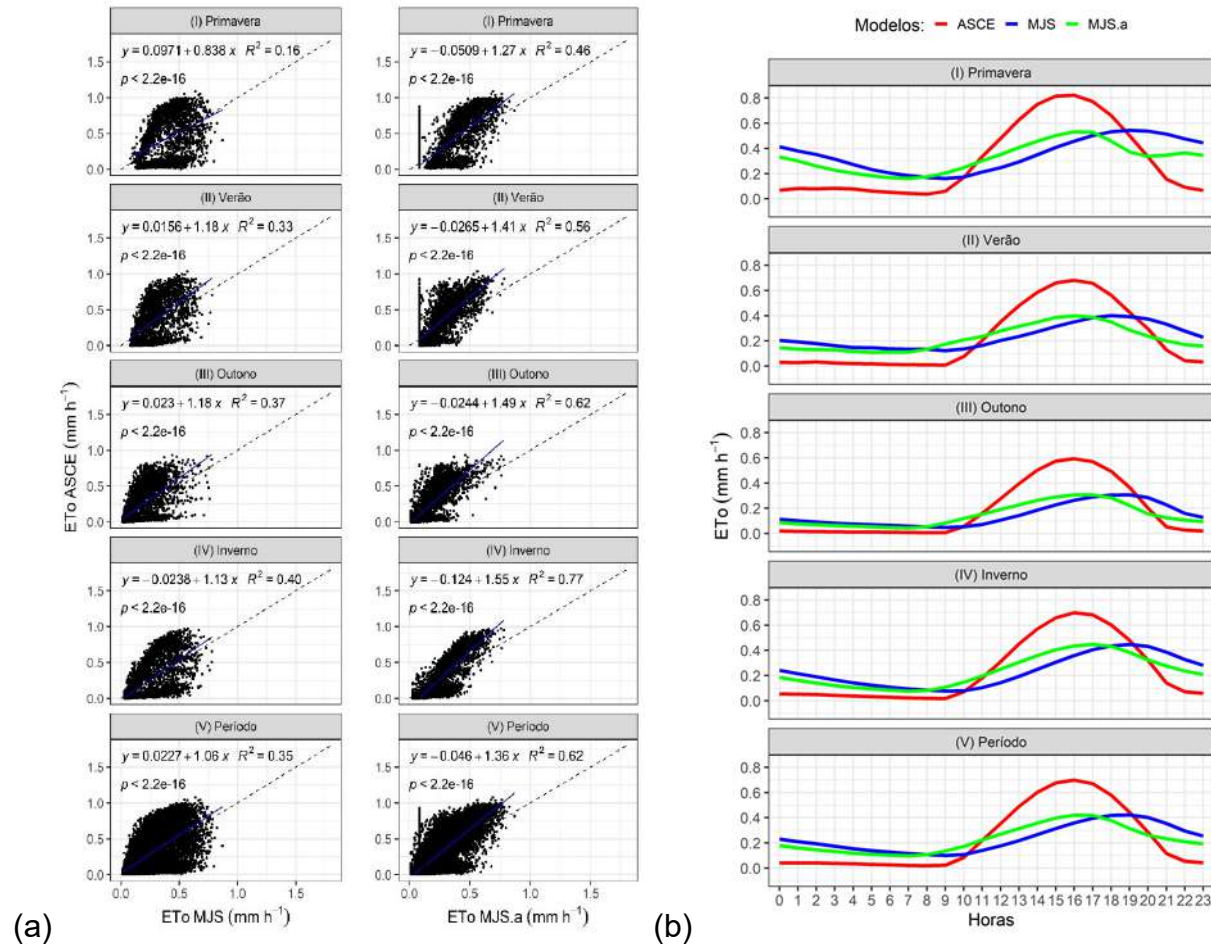
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.59 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE MONTEIRO (CLIMA *Ash*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



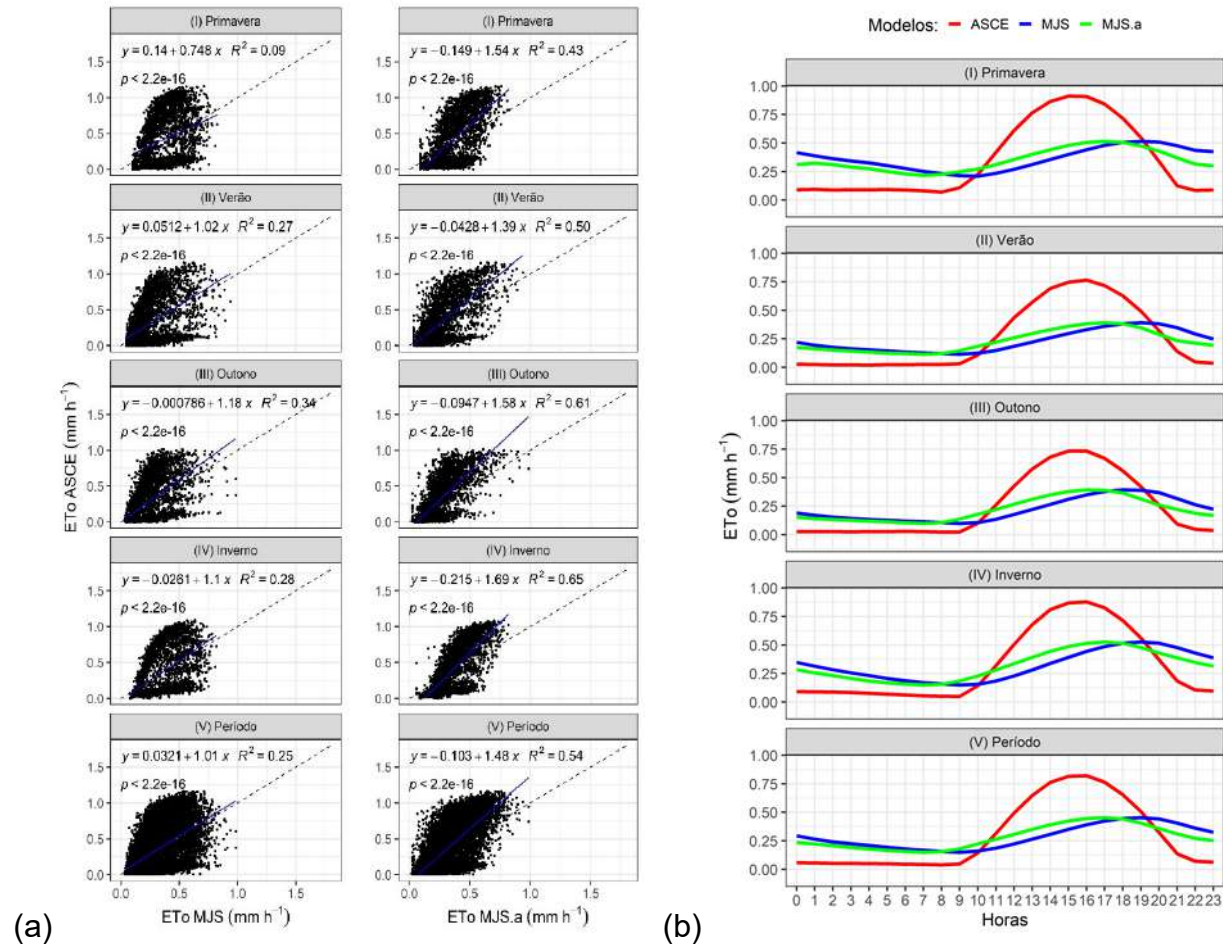
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.60 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE OURICURI (CLIMA *ASH*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



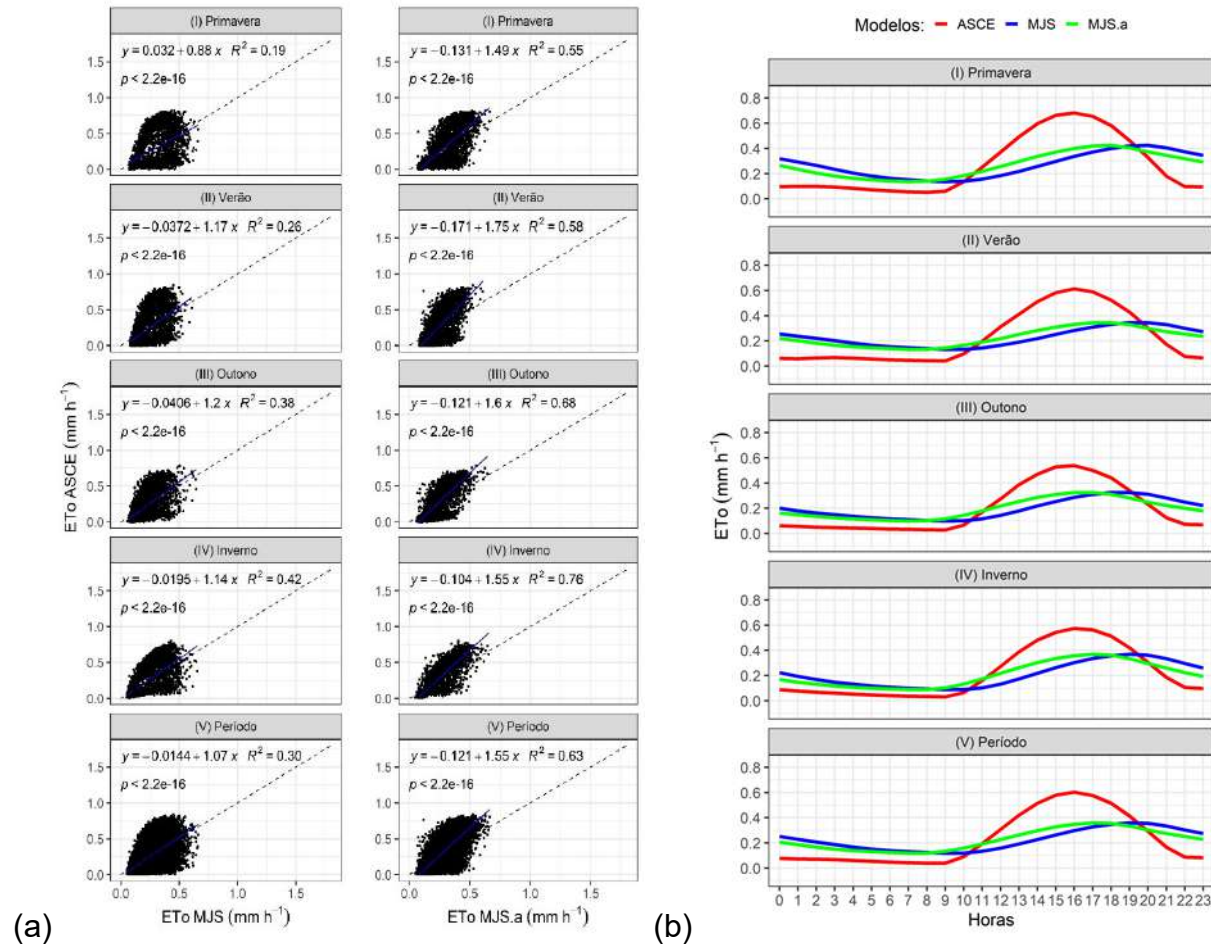
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.61 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PAULISTANA (CLIMA AS*h*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



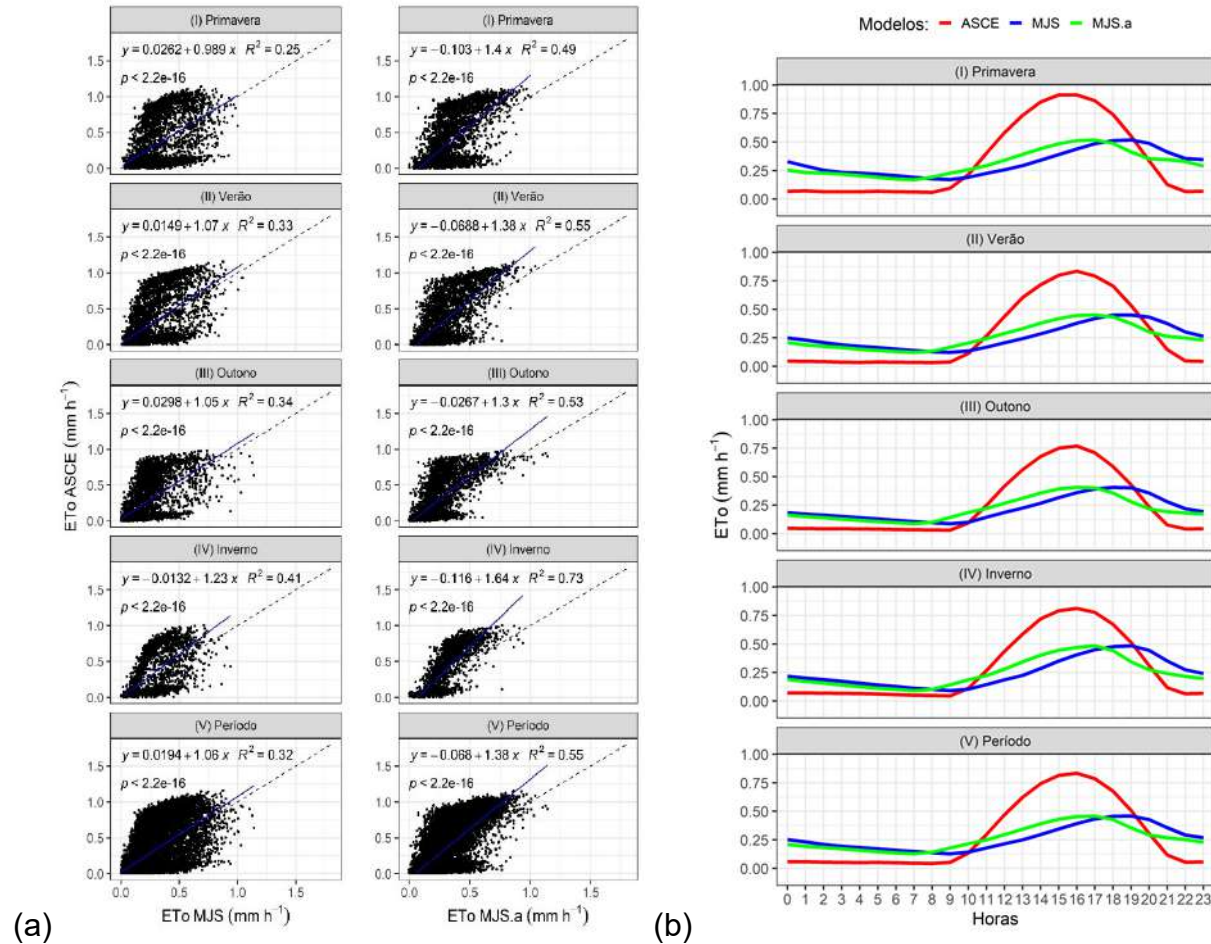
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.62 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PETROLINA (CLIMA *As**h*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.63 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE REMANSO (CLIMA *ASH*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (*MJS*) E APÓS AJUSTE (*MJS.a*).

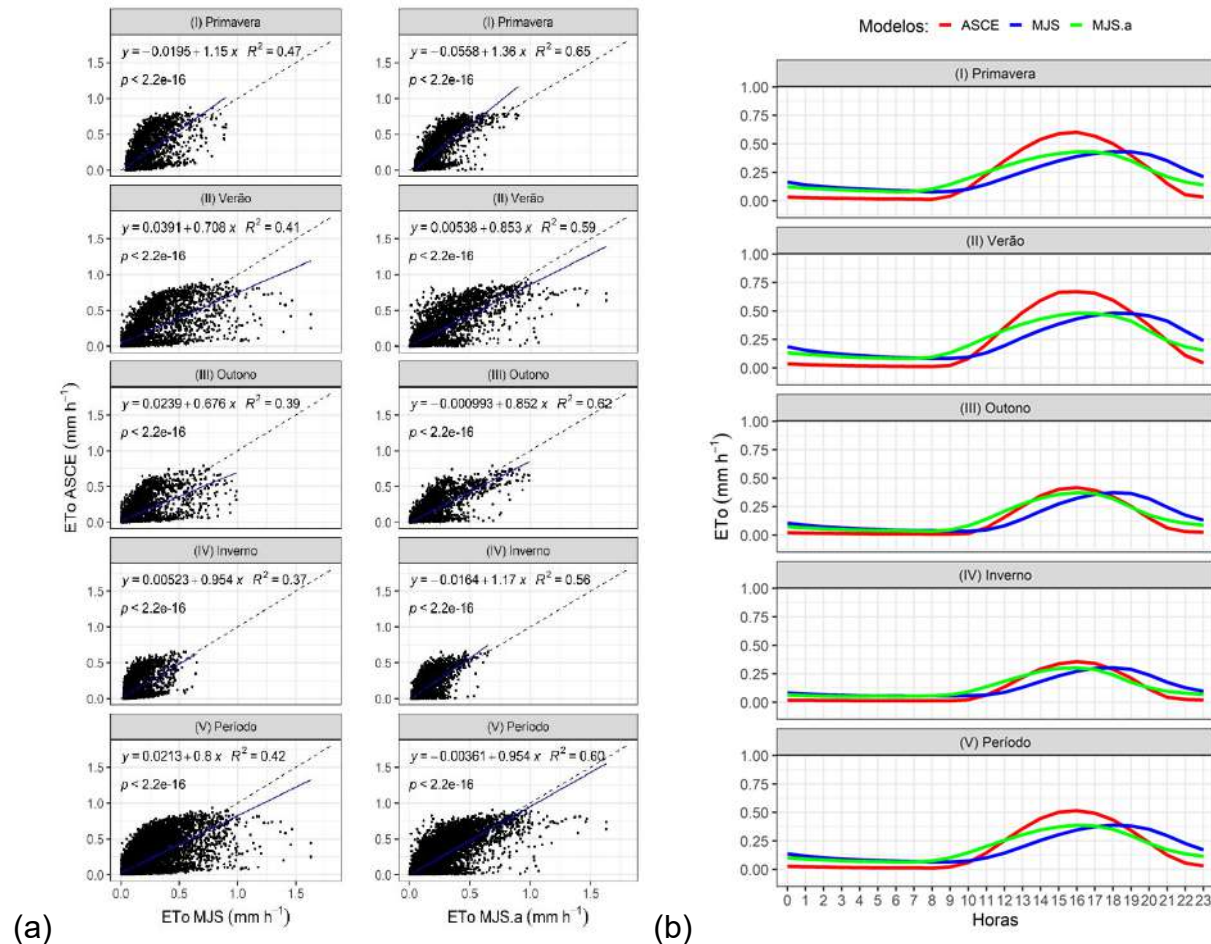


Fonte: O autor (2024).

TABELA A7.6 – INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NA VALIDAÇÃO, DAS ASSOCIAÇÕES ENTRE ET_o HORÁRIAS (ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020) DAS LOCALIDADES DO CLIMA Cfa , ESTIMADAS COM OS MODELOS $ASCE-PM$ (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURKI-SILVA, ANTES E APÓS AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO ($RMSE$; $mm\ h^{-1}$); COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (“ r ”; ADIMENSIONAL); E, EFICIÊNCIA DE NASH-SUTCLIFFE (NSE ; ADIMENSIONAL).

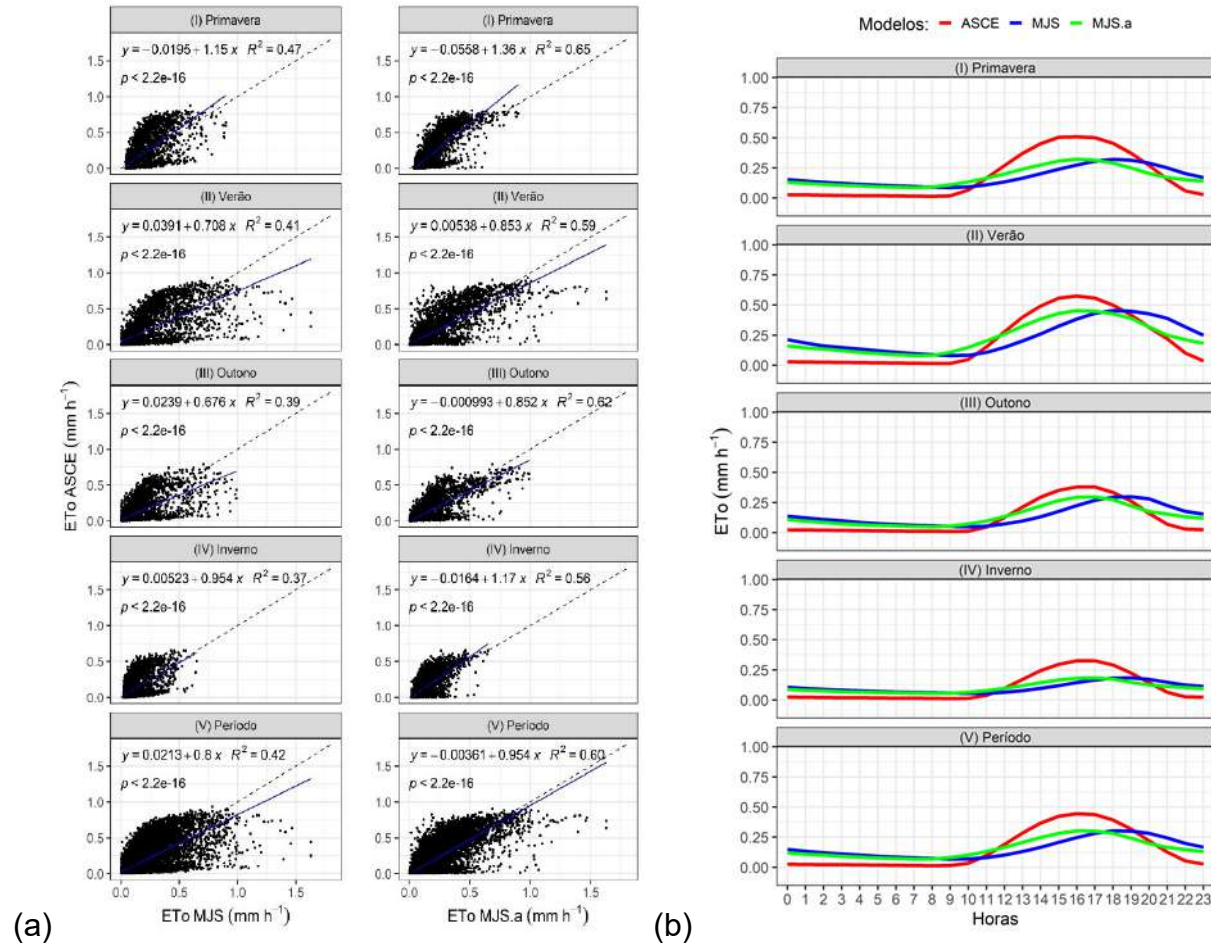
Localidades	Intervalo	Modelo	--- ET_{oASCE} Vs ET_{oMJS} ---			Ajuste Horas	--- ET_{oASCE} Vs $ET_{oMJS.a}$ ---		
			Antes do ajuste				Após ajuste		
			r	RMSE	NSE		r	RMSE	NSE
Bagé	Período	Linear	0.75	0.16	0.35	2	0.86	0.12	0.61
	Primavera	Linear	0.73	0.18	0.19	2	0.84	0.14	0.51
	Verão	Linear	0.75	0.19	0.16	2	0.86	0.15	0.47
	Outono	Linear	0.76	0.13	0.52	2	0.87	0.10	0.74
	Inverno	Linear	0.78	0.10	0.52	2	0.86	0.08	0.69
Bento Gonçalves	Período	Linear	0.65	0.16	0.08	2	0.77	0.13	0.39
	Primavera	Linear	0.69	0.17	-0.52	2	0.81	0.14	-0.10
	Verão	Linear	0.64	0.20	0.18	2	0.77	0.16	0.47
	Outono	Linear	0.62	0.14	0.16	2	0.78	0.11	0.49
	Inverno	Linear	0.62	0.11	-0.51	2	0.75	0.10	-0.09
Florianópolis	Período	Linear	0.79	0.13	0.45	1	0.80	0.13	0.48
	Primavera	Linear	0.78	0.15	0.11	1	0.79	0.14	0.13
	Verão	Linear	0.82	0.15	0.54	1	0.82	0.15	0.56
	Outono	Linear	0.79	0.12	0.49	1	0.82	0.11	0.55
	Inverno	Linear	0.73	0.11	0.39	1	0.76	0.10	0.45
Indaial	Período	Linear	0.63	0.22	0.26	2	0.79	0.17	0.55
	Primavera	Linear	0.60	0.22	0.16	2	0.76	0.18	0.47
	Verão	Linear	0.69	0.22	0.36	2	0.84	0.16	0.65
	Outono	Linear	0.69	0.16	0.25	2	0.88	0.10	0.68
	Inverno	Linear	0.60	0.26	0.23	2	0.77	0.22	0.45
Maringá	Período	Linear	0.59	0.21	-0.27	2	0.74	0.17	0.13
	Primavera	Linear	0.53	0.25	-0.49	2	0.70	0.21	-0.04
	Verão	Linear	0.60	0.23	-0.16	2	0.73	0.19	0.18
	Outono	Linear	0.66	0.16	-0.20	2	0.82	0.13	0.25
	Inverno	Linear	0.60	0.18	-0.52	2	0.76	0.15	-0.04
Porto Alegre	Período	Linear	0.77	0.15	0.51	2	0.84	0.13	0.65
	Primavera	Linear	0.78	0.16	0.47	2	0.84	0.14	0.62
	Verão	Linear	0.77	0.19	0.50	2	0.83	0.17	0.62
	Outono	Linear	0.74	0.12	0.41	2	0.83	0.10	0.62
	Inverno	Linear	0.72	0.10	0.26	2	0.80	0.09	0.46
Rio Grande	Período	Linear	0.78	0.13	0.45	1	0.82	0.11	0.55
	Primavera	Linear	0.75	0.15	0.25	1	0.79	0.14	0.35
	Verão	Linear	0.77	0.16	0.44	1	0.81	0.15	0.53
	Outono	Linear	0.78	0.10	0.45	1	0.85	0.08	0.62
	Inverno	Linear	0.77	0.08	0.36	1	0.84	0.07	0.54
Uruguaiana	Período	Linear	0.76	0.17	0.32	2	0.85	0.14	0.55
	Primavera	Linear	0.76	0.20	0.21	2	0.80	0.19	0.34
	Verão	Linear	0.73	0.21	0.08	2	0.86	0.16	0.46
	Outono	Linear	0.75	0.14	0.44	2	0.88	0.10	0.73
	Inverno	Linear	0.78	0.12	0.52	2	0.89	0.08	0.75
Vitória da Conquista	Período	Linear	0.76	0.19	0.25	2	0.84	0.15	0.47
	Primavera	Linear	0.75	0.21	0.34	2	0.86	0.16	0.62
	Verão	Linear	0.75	0.20	0.17	2	0.81	0.18	0.33
	Outono	Linear	0.77	0.16	-0.05	2	0.85	0.14	0.20
	Inverno	Linear	0.77	0.17	0.12	2	0.86	0.15	0.38
Média clima Cfa	Período	Linear	0.72	0.17	0.26	2	0.81	0.14	0.47
	Primavera	Linear	0.71	0.19	0.07	2	0.79	0.16	0.30
	Verão	Linear	0.72	0.20	0.26	2	0.81	0.17	0.48
	Outono	Linear	0.73	0.14	0.24	2	0.84	0.11	0.52
	Inverno	Linear	0.70	0.14	0.11	2	0.80	0.12	0.36

FIGURA A7.64 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BENTO GONÇALVES (CLIMA *Cfa*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



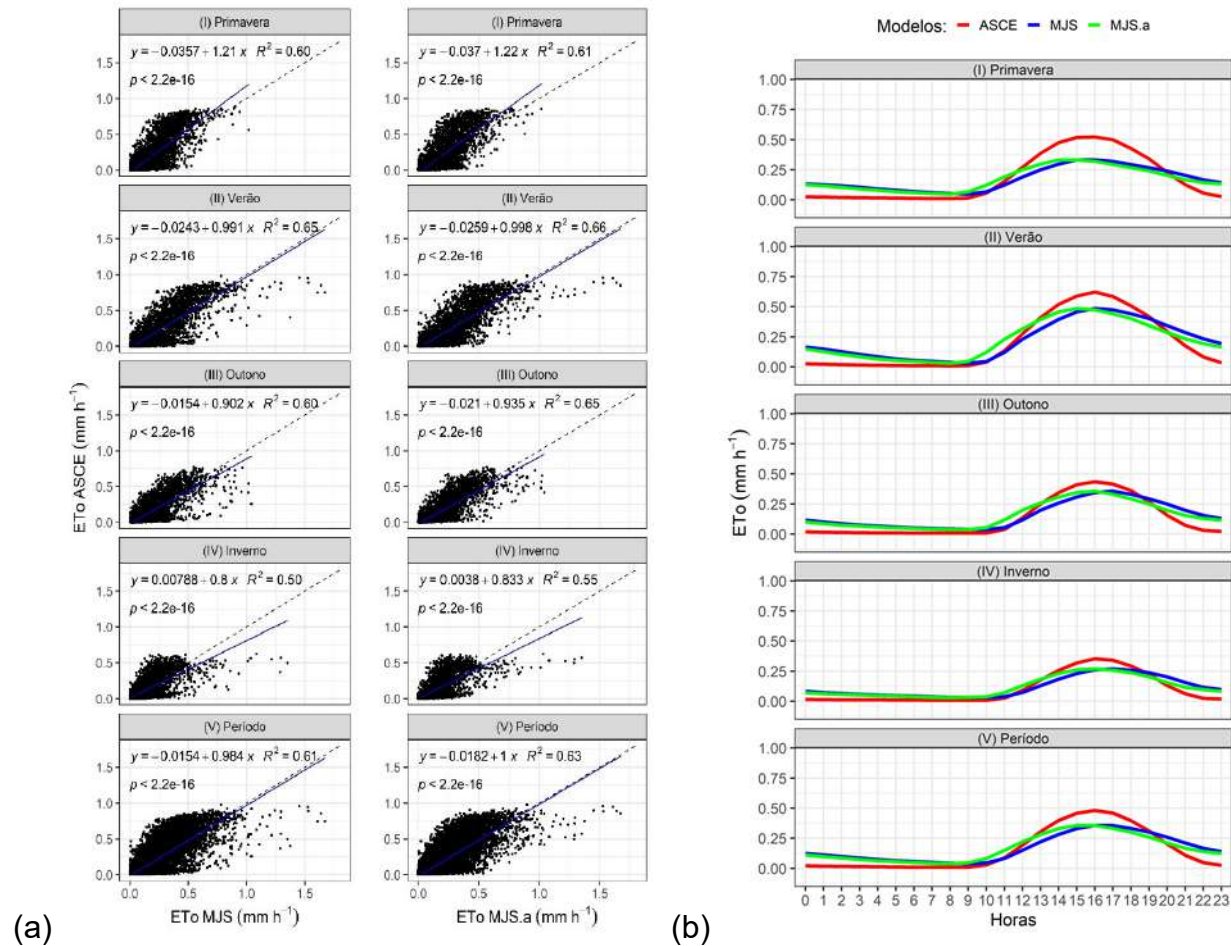
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.65 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BAGÉ (CLIMA Cfa; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



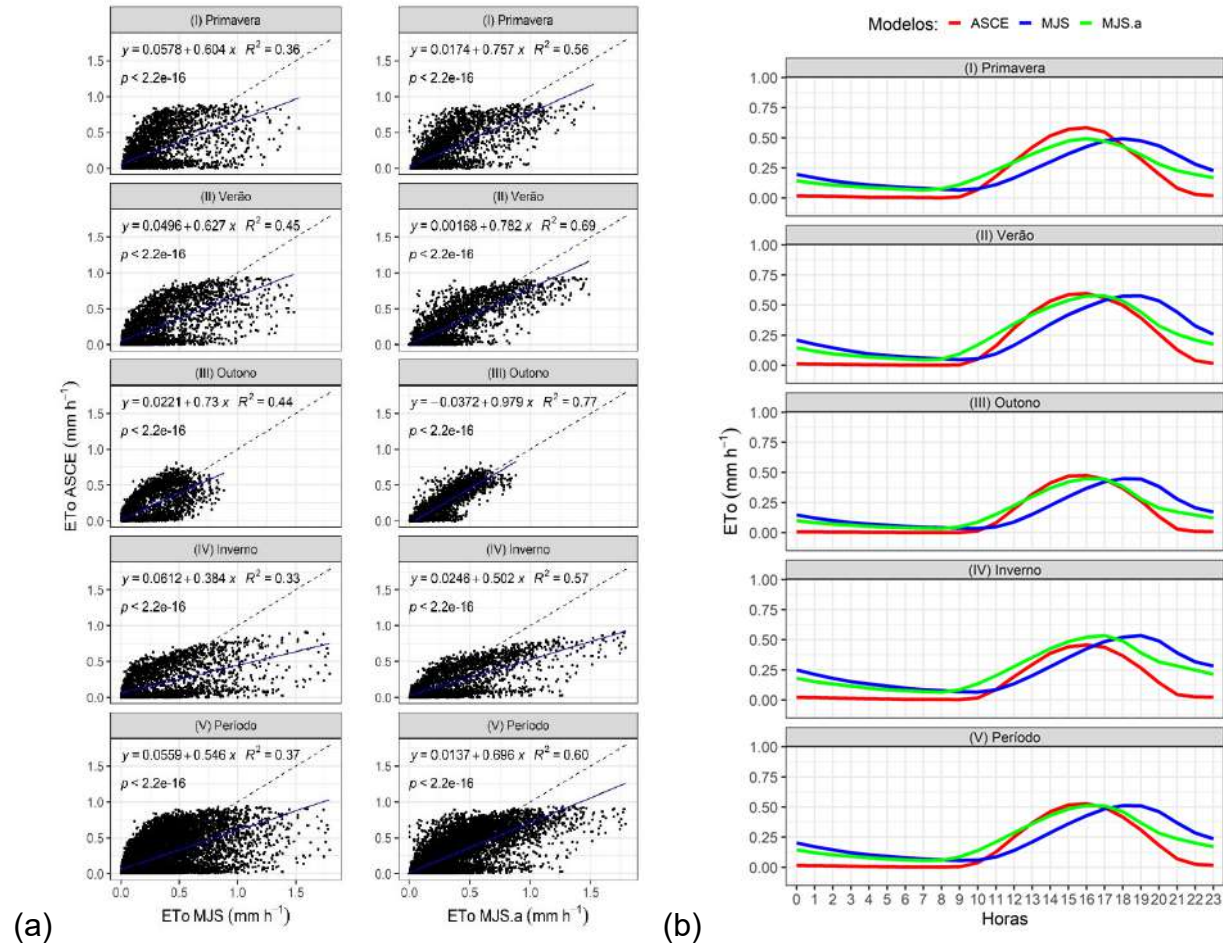
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.66 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE FLORIANÓPOLIS (CLIMA *Cfa*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



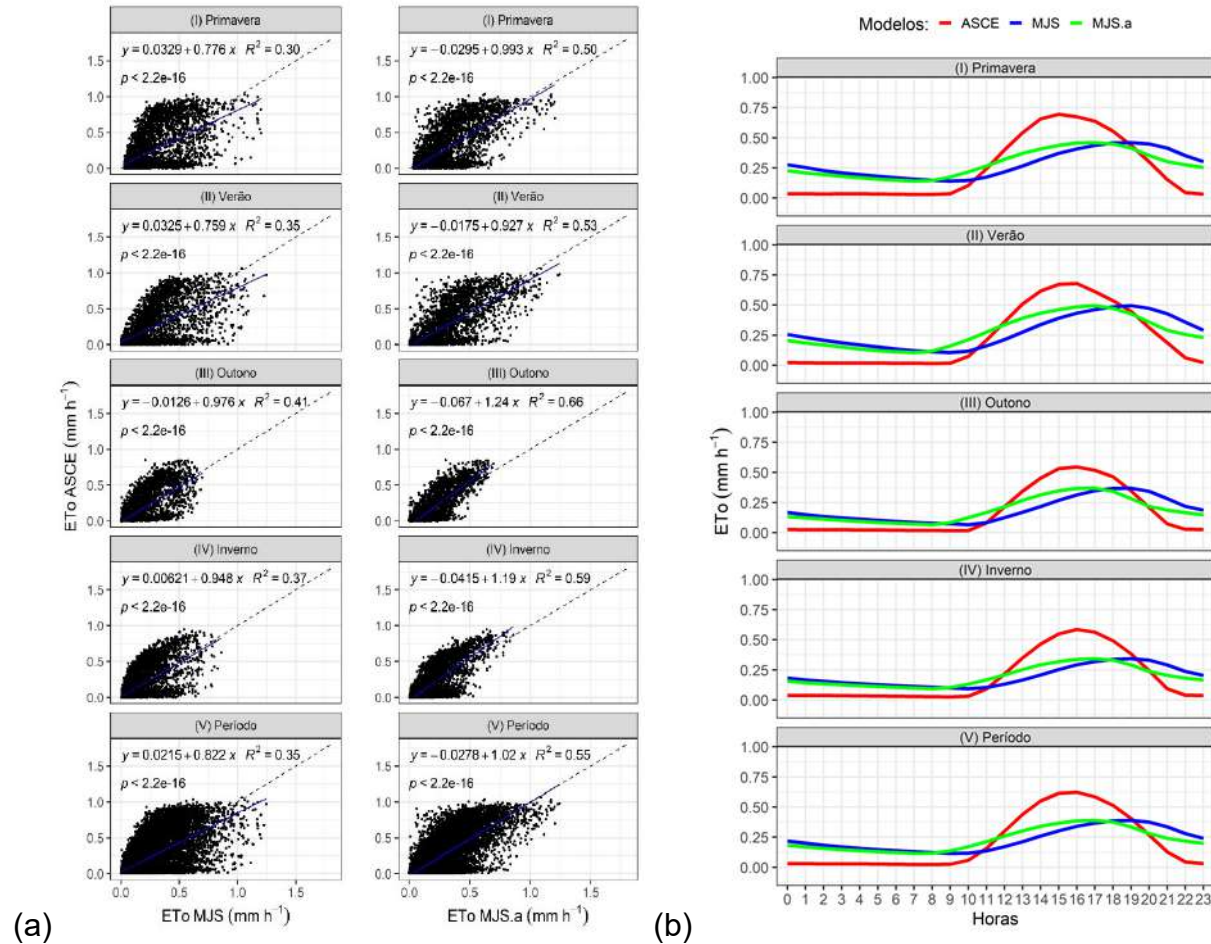
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.67 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE INDIAL (CLIMA *Cfa*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



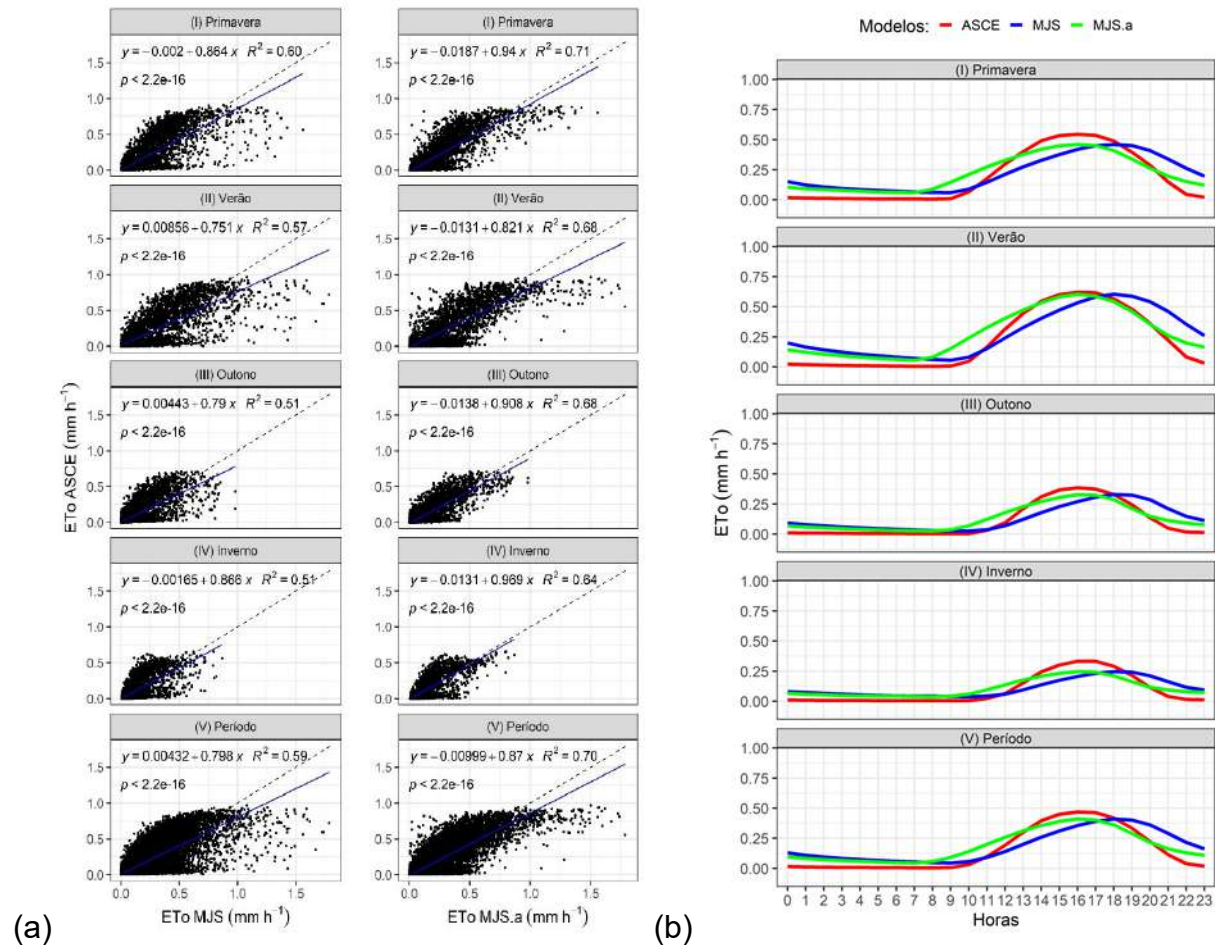
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.68 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE MARINGÁ (CLIMA *Cfa*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



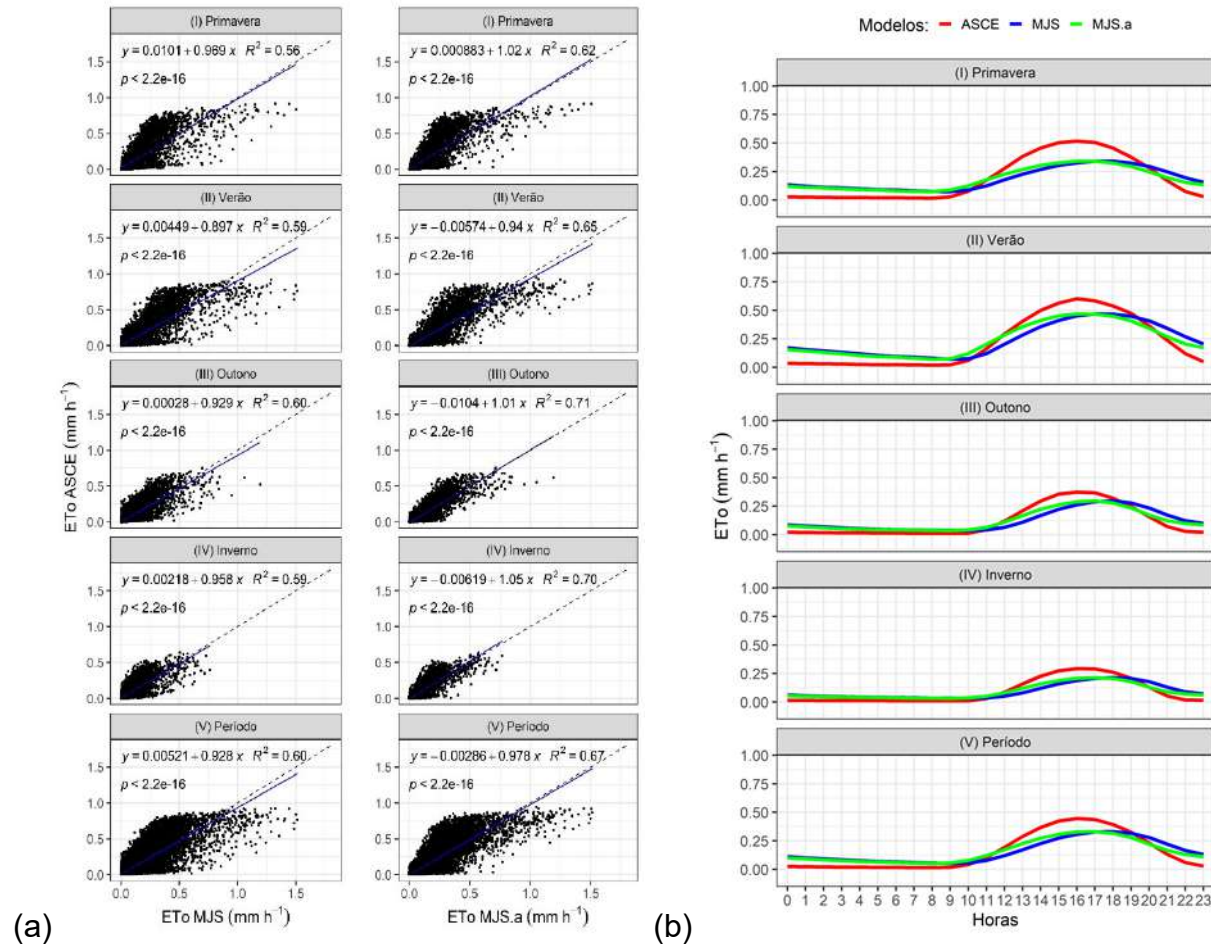
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.69 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PORTO ALEGRE (CLIMA *Cfa*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



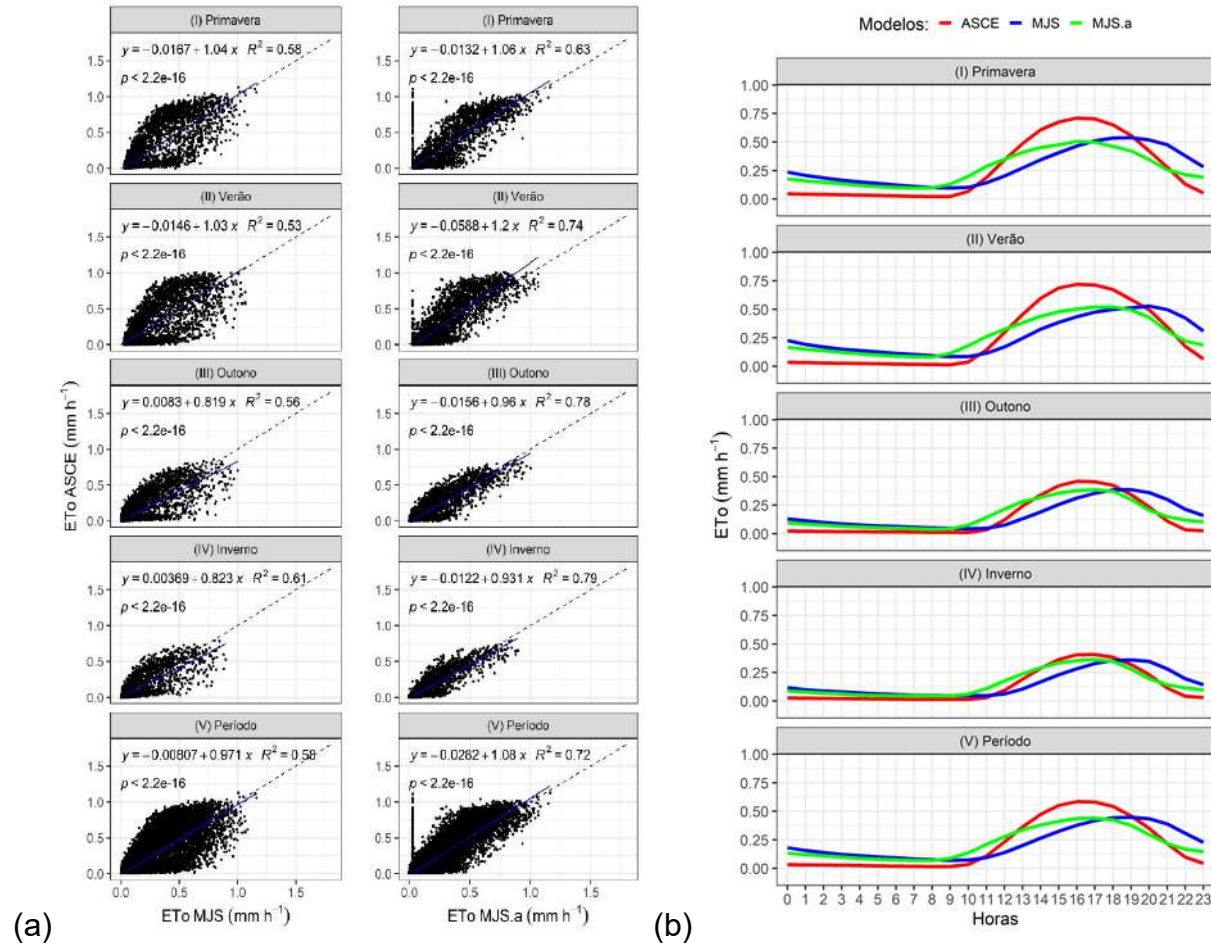
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.70 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE RIO GRANDE (CLIMA *Cfa*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



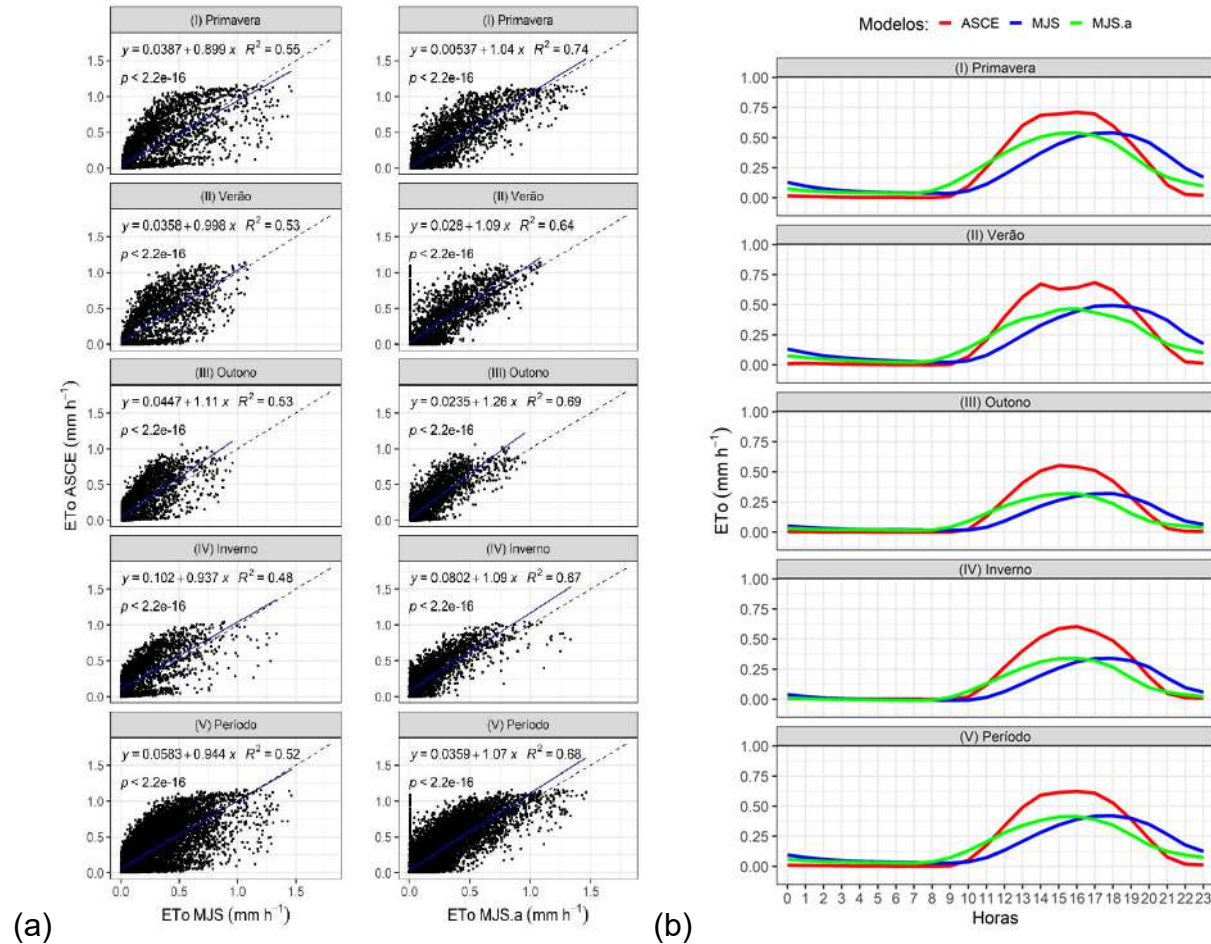
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.71 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE URUGUAIANA (CLIMA *Cfa*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.72 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE VITÓRIA DA CONQUISTA (CLIMA *Cfa*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).

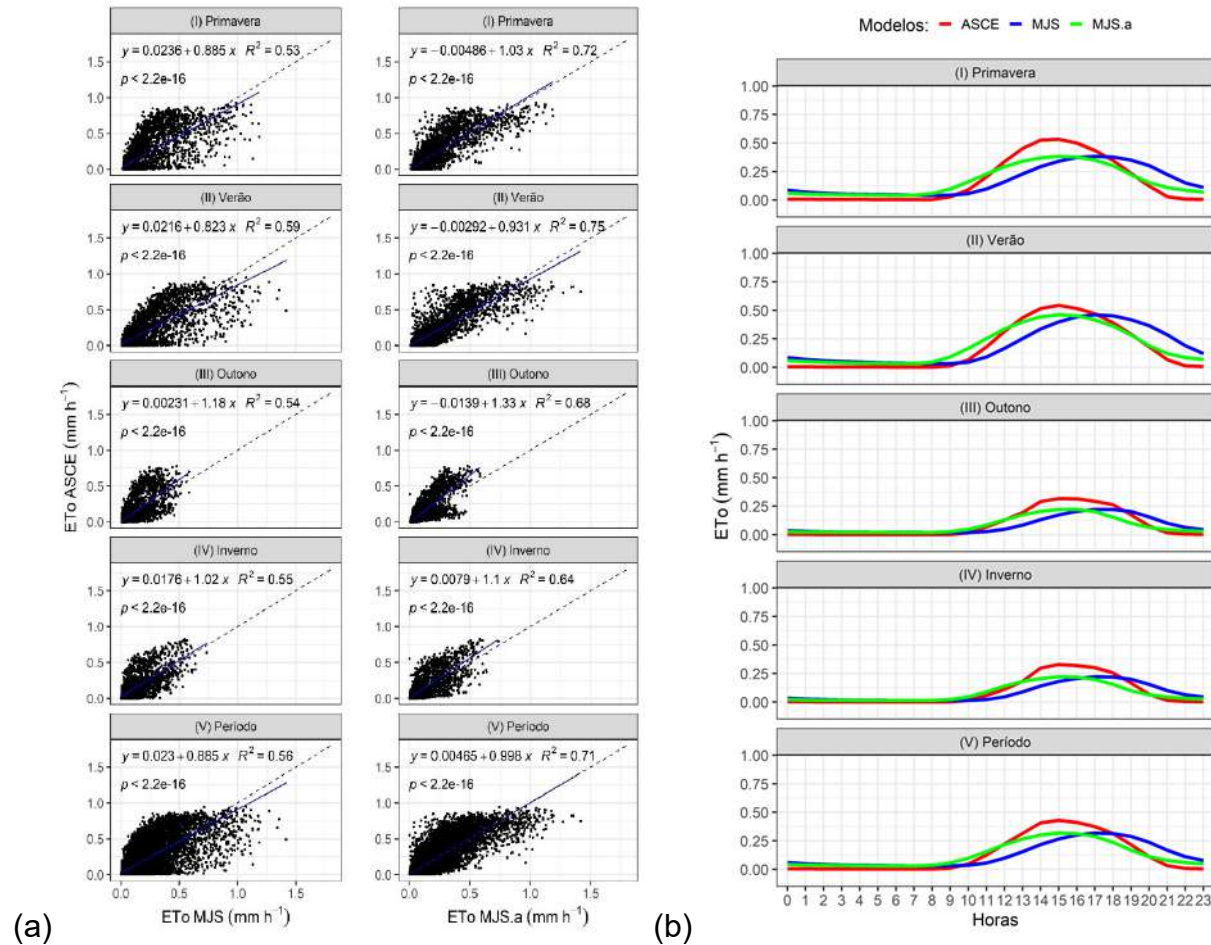


Fonte: O autor (2024).

TABELA A7.7 – INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NA VALIDAÇÃO, DAS ASSOCIAÇÕES ENTRE ET_o HORÁRIAS (ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020) DAS LOCALIDADES DO CLIMA Cfb, ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE-PM (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURKI-SILVA, ANTES E APÓS AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO (RMSE; mm h⁻¹); COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (“r”; ADIMENSIONAL); E, EFICIÊNCIA DE NASH-SUTCLIFFE (NSE; ADIMENSIONAL).

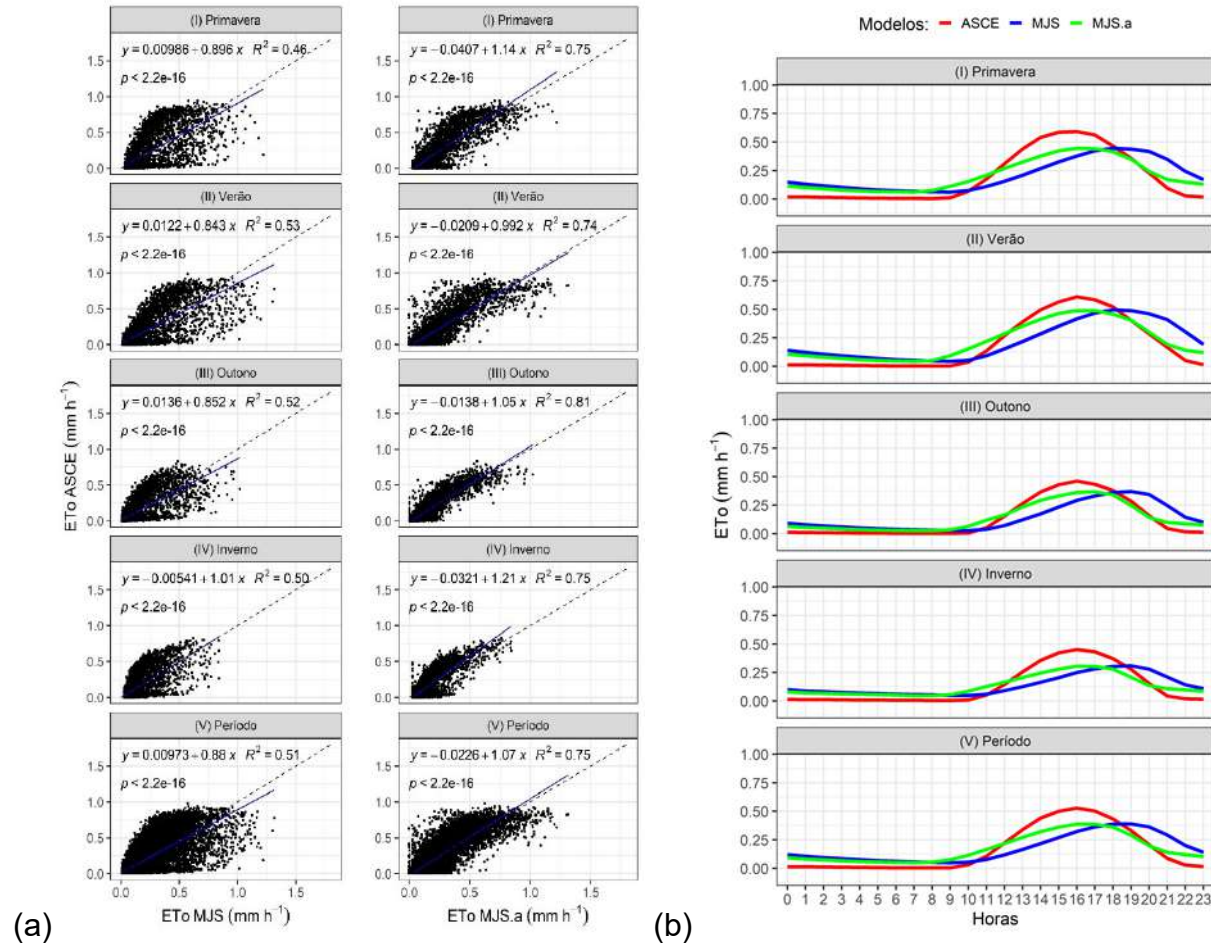
Localidades	Intervalo	Modelo	-- ET_{oASCE} vs ET_{oMJS} --			Ajuste Horas	-- ET_{oASCE} vs $ET_{oMJS.a}$ --		
			Antes do ajuste				Após ajuste		
			r	RMSE	NSE		r	RMSE	NSE
Castro	Período	Linear	0.76	0.13	0.38	2	0.85	0.11	0.61
	Primavera	Linear	0.73	0.16	0.28	2	0.85	0.12	0.59
	Verão	Linear	0.77	0.16	0.49	2	0.87	0.12	0.71
	Outono	Linear	0.76	0.10	-0.14	2	0.84	0.09	0.13
	Inverno	Linear	0.76	0.10	0.18	2	0.82	0.09	0.34
Ivaí	Período	Linear	0.72	0.16	0.25	2	0.87	0.11	0.63
	Primavera	Linear	0.69	0.19	0.07	2	0.87	0.13	0.55
	Verão	Linear	0.74	0.18	0.36	2	0.86	0.13	0.65
	Outono	Linear	0.73	0.13	0.33	2	0.90	0.08	0.74
	Inverno	Linear	0.72	0.13	0.02	2	0.87	0.10	0.46
Lages	Período	Linear	0.74	0.14	0.36	2	0.80	0.12	0.49
	Primavera	Quadrático	0.72	0.16	0.21	2	0.79	0.14	0.35
	Verão	Linear	0.74	0.17	0.36	2	0.82	0.14	0.55
	Outono	Linear	0.71	0.12	0.31	2	0.76	0.10	0.30
	Inverno	Linear	0.73	0.11	0.42	2	0.79	0.09	0.54
Lagoa Vermelha	Período	Linear	0.69	0.17	0.18	2	0.85	0.12	0.56
	Primavera	Linear	0.68	0.19	0.01	2	0.85	0.14	0.49
	Verão	Linear	0.67	0.21	0.19	2	0.83	0.15	0.56
	Outono	Linear	0.67	0.13	0.12	2	0.85	0.09	0.57
	Inverno	Linear	0.68	0.12	-0.12	2	0.83	0.09	0.32
Passo Fundo	Período	Linear	0.69	0.16	0.22	2	0.69	0.12	0.55
	Primavera	Linear	0.70	0.18	0.07	2	0.85	0.14	0.48
	Verão	Linear	0.66	0.21	0.20	2	0.80	0.16	0.52
	Outono	Linear	0.70	0.13	0.29	2	0.86	0.09	0.66
	Inverno	Linear	0.72	0.12	0.00	2	0.84	0.10	0.35
São Joaquim	Período	Linear	0.71	0.15	0.27	2	0.76	0.14	0.38
	Primavera	Linear	0.72	0.16	0.20	2	0.78	0.15	0.36
	Verão	Linear	0.74	0.17	0.40	2	0.78	0.16	0.49
	Outono	Linear	0.67	0.12	0.11	2	0.75	0.11	0.30
	Inverno	Linear	0.63	0.13	-0.25	2	0.65	0.12	-0.20
São Paulo	Período	Linear	0.74	0.15	-0.51	1	0.78	0.14	-0.38
	Primavera	Linear	0.71	0.18	-1.70	1	0.73	0.17	-1.60
	Verão	Linear	0.81	0.17	-0.92	1	0.83	0.17	-0.85
	Outono	Linear	0.75	0.13	0.11	1	0.80	0.12	0.26
	Inverno	Linear	0.75	0.12	-0.02	1	0.82	0.11	0.19
Média clima Cfb	Período	Linear	0.72	0.16	0.13	2	0.79	0.13	0.37
	Primavera	Linear	0.70	0.18	-0.19	2	0.81	0.15	0.11
	Verão	Linear	0.73	0.19	0.10	2	0.82	0.15	0.32
	Outono	Linear	0.71	0.13	0.21	2	0.82	0.10	0.47
	Inverno	Linear	0.71	0.12	0.01	2	0.80	0.10	0.28

FIGURA A7.73 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE CASTRO (CLIMA *Cfb*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



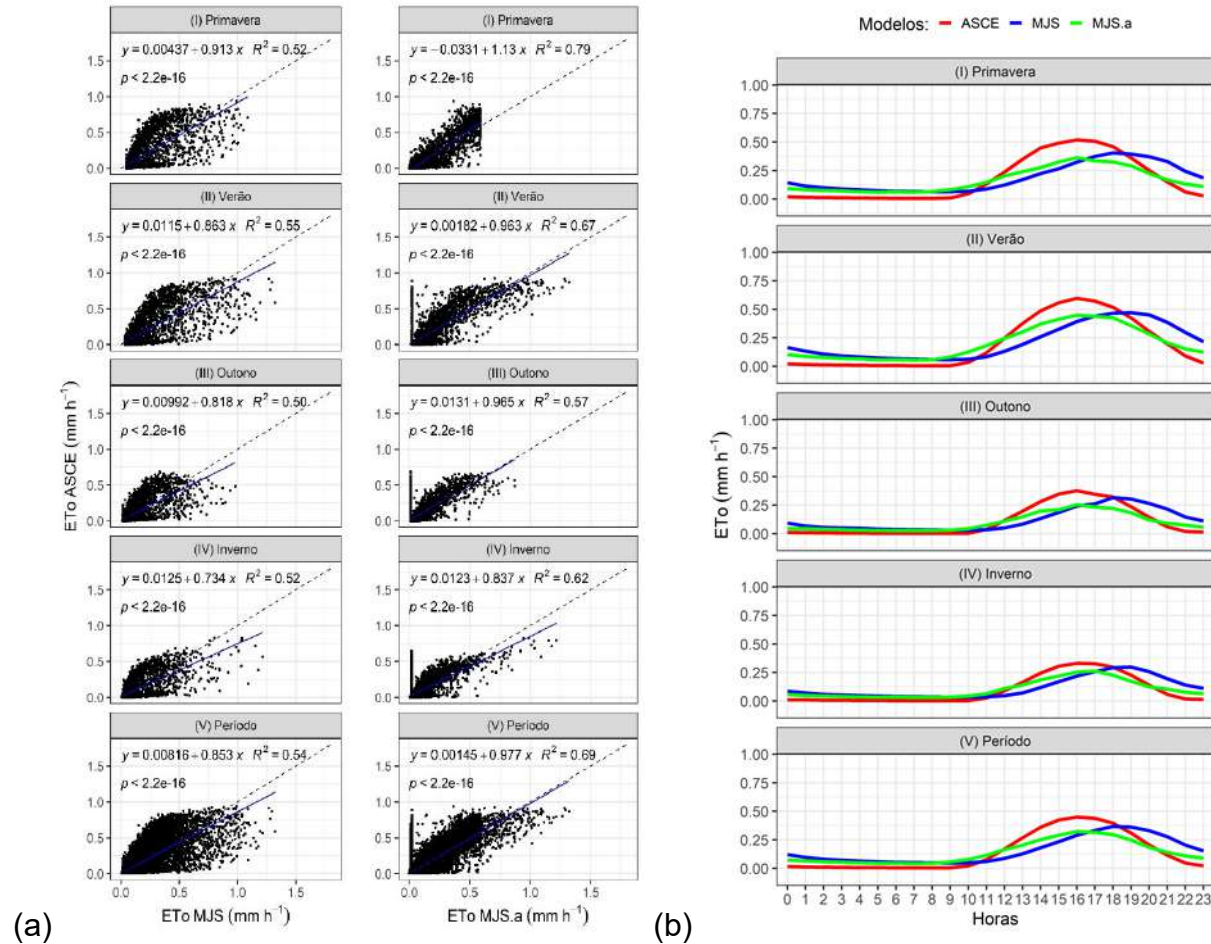
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.74 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE IVAÍ (CLIMA *Cfb*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



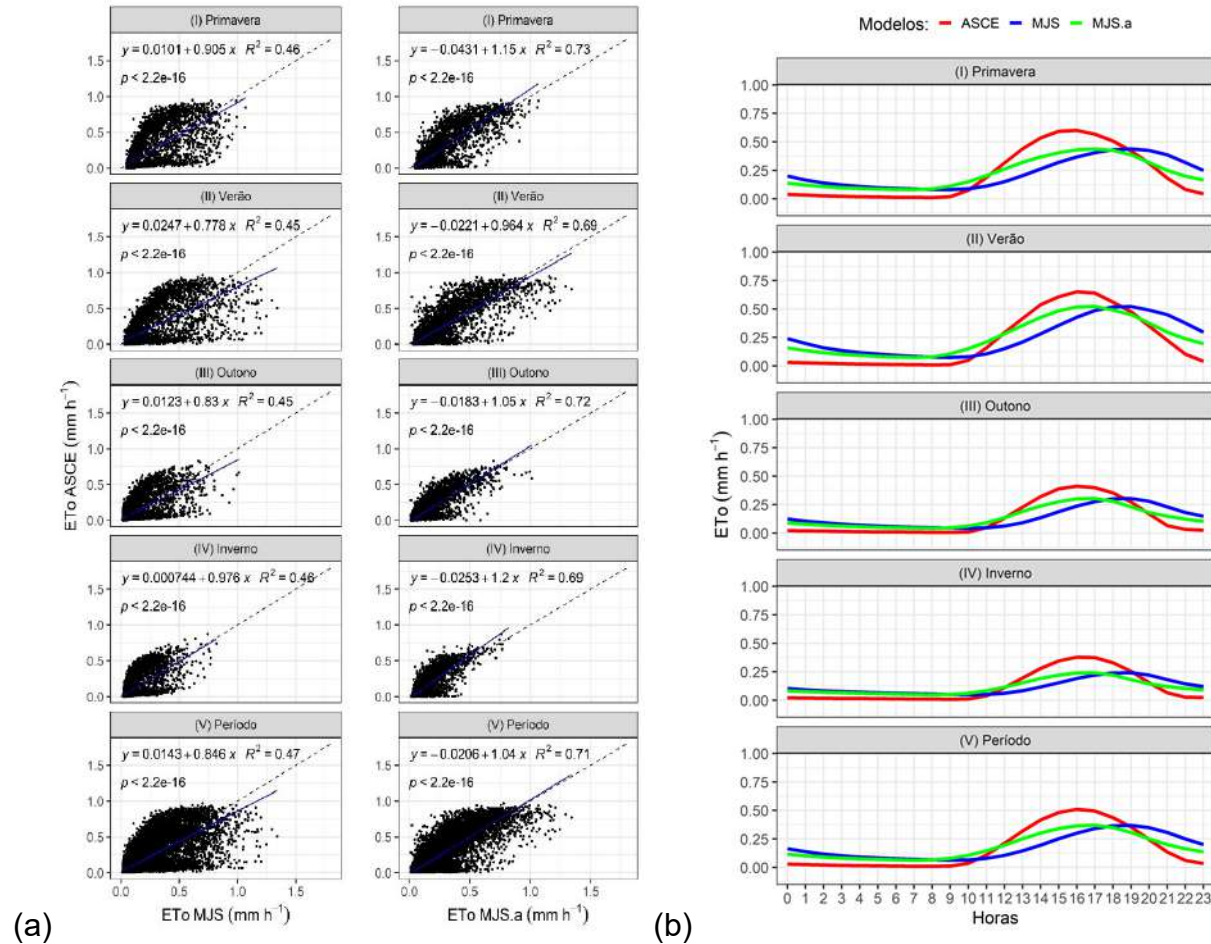
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.75 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE LAGES (CLIMA *Cfb*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO:
a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



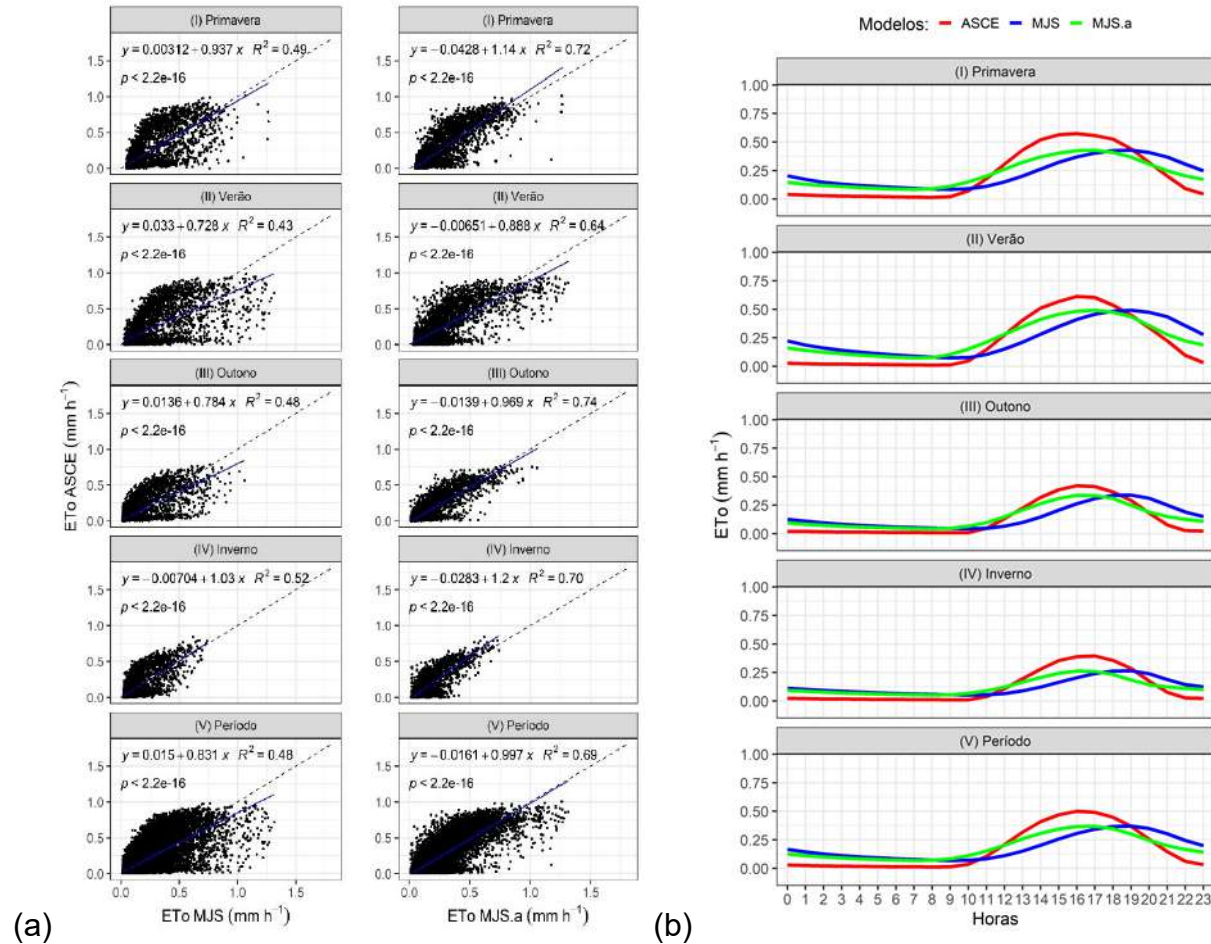
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.76 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE LAGOA VERMELHA (CLIMA *Cfb*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



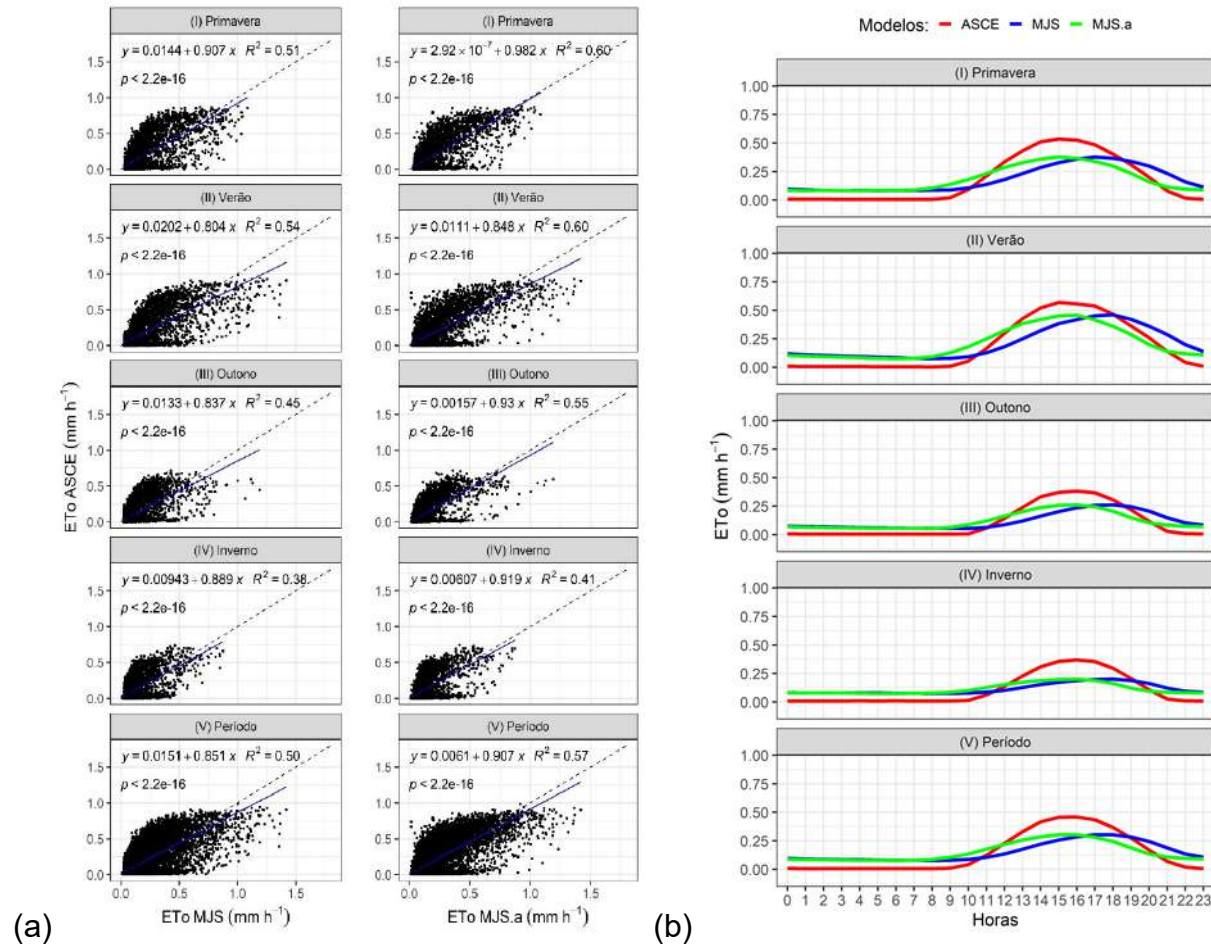
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.77 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PASSO FUNDO (CLIMA *Cfb*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



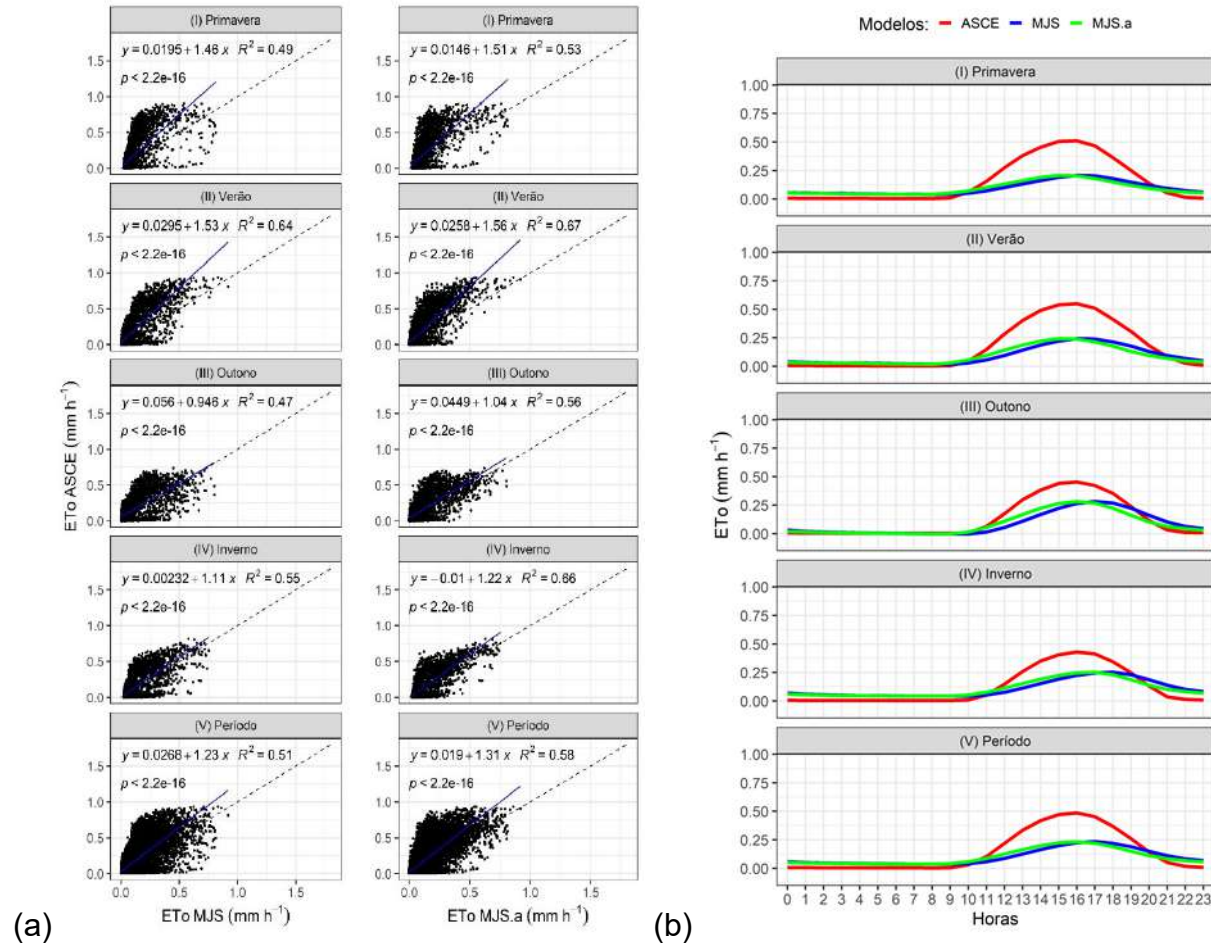
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.78 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE SÃO JOAQUIM (CLIMA *Cfb*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.79 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE SÃO PAULO (CLIMA *Cfb*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).

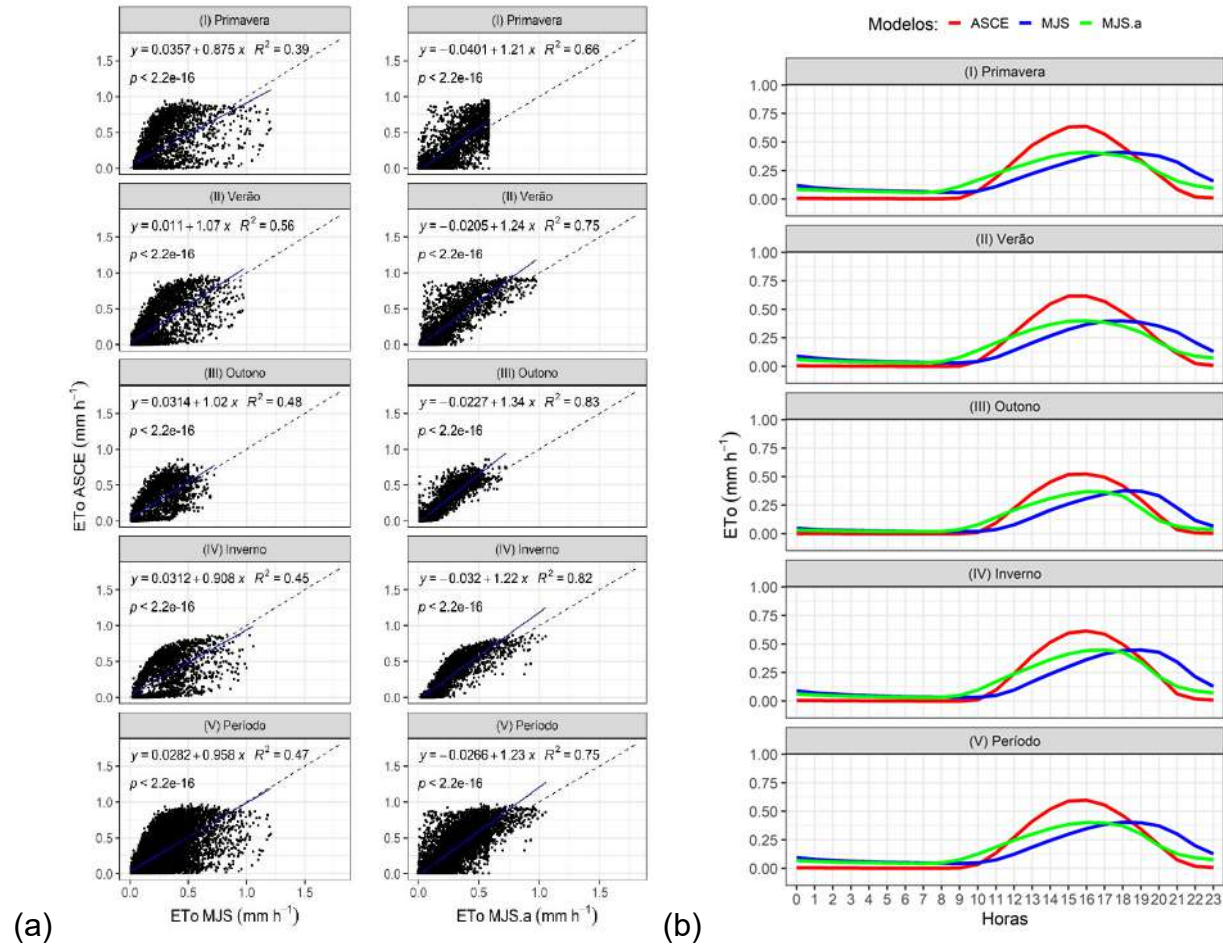


Fonte: O autor (2024).

TABELA A7.8 – INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NA VALIDAÇÃO, DAS ASSOCIAÇÕES ENTRE ET_o HORÁRIAS (ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020) DAS LOCALIDADES DO CLIMA Cwa , ESTIMADAS COM OS MODELOS $ASCE-PM$ (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURKI-SILVA, ANTES E APÓS AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO ($RMSE$; $mm\ h^{-1}$); COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (" r "; ADIMENSIONAL); E, EFICIÊNCIA DE NASH-SUTCLIFFE (NSE ; ADIMENSIONAL).

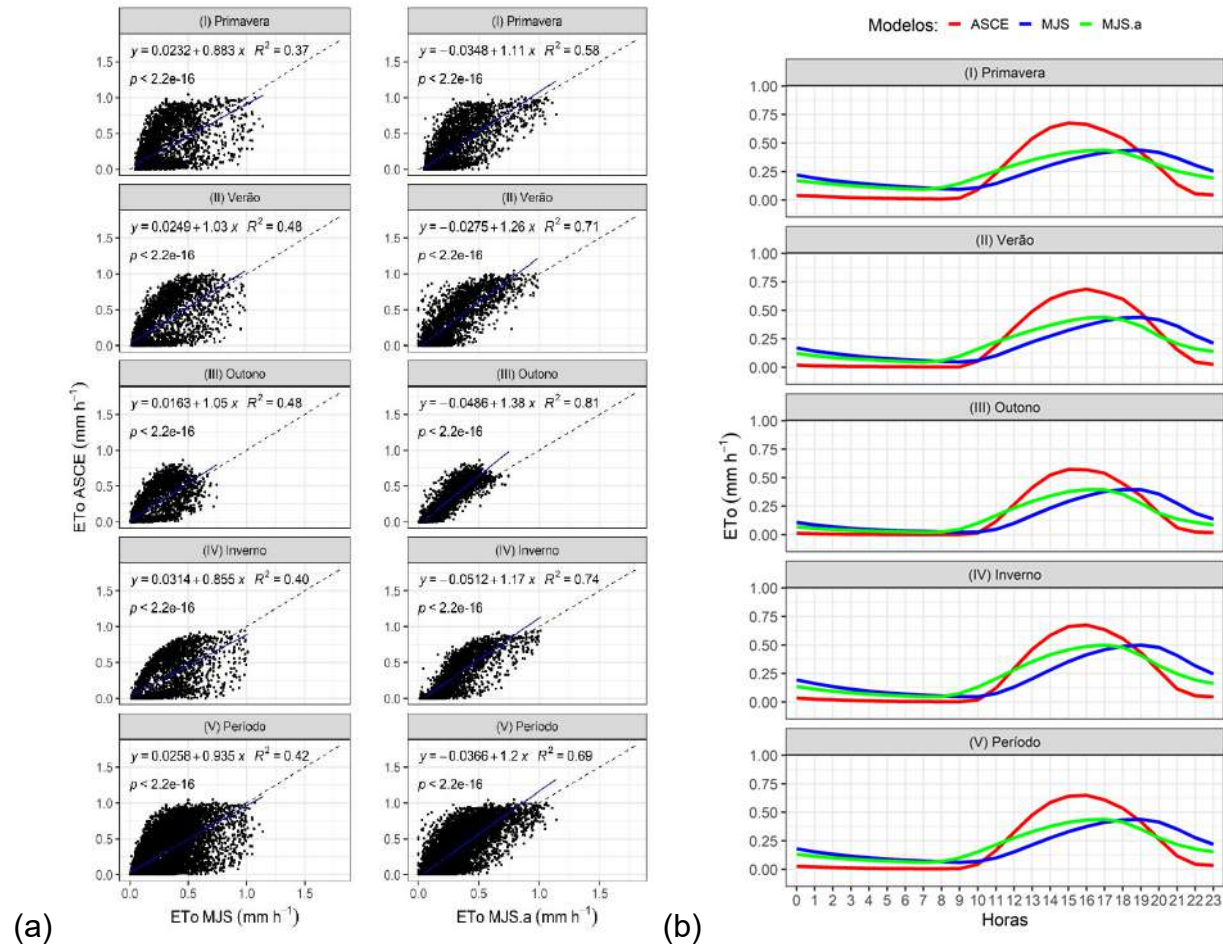
			-- ET_{oASCE} vs ET_{oMJS} --			Ajuste	-- ET_{oASCE} vs $ET_{oMJS.a}$ --		
Localidades	Intervalo	Modelo	Antes do ajuste				Após ajuste		
			r	$RMSE$	NSE	Horas	r	$RMSE$	NSE
BambuÍ	Período	Quadrático	0.77	0.16	0.28	2	0.88	0.12	0.57
	Primavera	Quadrático	0.73	0.18	0.09	2	0.83	0.22	0.38
	Verão	Linear	0.77	0.17	0.18	2	0.88	0.13	0.47
	Outono	Linear	0.76	0.14	0.09	2	0.93	0.10	0.57
	Inverno	Linear	0.72	0.17	0.13	2	0.91	0.10	0.67
Curvelo	Período	Linear	0.68	0.20	-0.11	2	0.84	0.15	0.37
	Primavera	Linear	0.61	0.22	-0.35	2	0.77	0.18	0.11
	Verão	Linear	0.71	0.21	-0.13	2	0.85	0.16	0.31
	Outono	Linear	0.73	0.16	-0.07	2	0.91	0.11	0.48
	Inverno	Linear	0.67	0.19	-0.01	2	0.87	0.54	0.13
Divinópolis	Período	Linear	0.65	0.19	0.24	2	0.84	0.13	0.64
	Primavera	Linear	0.60	0.22	0.05	2	0.77	0.16	0.45
	Verão	Linear	0.71	0.19	0.37	2	0.85	0.14	0.68
	Outono	Linear	0.68	0.16	0.28	2	0.90	0.09	0.77
	Inverno	Linear	0.62	0.21	0.18	2	0.86	0.65	0.14
Florestal	Período	Linear	0.78	0.15	0.36	2	0.88	0.11	0.63
	Primavera	Linear	0.73	0.17	0.29	2	0.84	0.14	0.55
	Verão	Linear	0.81	0.15	0.47	2	0.88	0.12	0.66
	Outono	Linear	0.80	0.12	0.31	2	0.90	0.09	0.63
	Inverno	Linear	0.78	0.14	0.30	2	0.92	0.10	0.66
Patos de Minas	Período	Linear	0.57	0.22	-0.11	2	0.69	0.19	0.20
	Primavera	Linear	0.54	0.26	-0.03	2	0.66	0.23	0.24
	Verão	Linear	0.71	0.19	-0.64	2	0.80	0.17	-0.30
	Outono	Linear	0.71	0.16	-0.73	2	0.84	0.13	-0.21
	Inverno	Linear	0.61	0.23	-0.51	2	0.78	0.19	0.04
Resende	Período	Linear	0.71	0.15	0.21	2	0.85	0.12	0.56
	Primavera	Linear	0.70	0.16	-0.08	2	0.83	0.13	0.29
	Verão	Linear	0.74	0.17	0.36	2	0.81	0.15	0.53
	Outono	Linear	0.71	0.14	0.24	2	0.89	0.09	0.69
	Inverno	Linear	0.69	0.15	0.19	2	0.90	0.09	0.71
São Carlos	Período	Linear	0.66	0.18	0.00	2	0.80	0.14	0.36
	Primavera	Linear	0.59	0.22	-0.17	2	0.74	0.18	0.24
	Verão	Linear	0.69	0.18	0.16	2	0.81	0.15	0.44
	Outono	Linear	0.72	0.14	0.13	2	0.87	0.11	0.53
	Inverno	Linear	0.65	0.17	-0.24	2	0.81	0.14	0.21
Taubaté	Período	Quadrático	0.77	0.15	0.34	2	0.89	0.11	0.63
	Primavera	Quadrático	0.76	0.16	0.23	2	0.86	0.13	0.48
	Verão	Linear	0.77	0.17	0.38	2	0.88	0.13	0.65
	Outono	Linear	0.72	0.14	0.22	2	0.92	0.08	0.72
	Inverno	Linear	0.71	0.14	0.02	2	0.90	0.09	0.57
Média clima Cwa	Período	Linear	0.69	0.18	0.13	2	0.83	0.14	0.48
	Primavera	Linear	0.65	0.20	-0.01	2	0.78	0.16	0.34
	Verão	Linear	0.73	0.18	0.14	2	0.84	0.15	0.42
	Outono	Linear	0.72	0.15	0.05	2	0.89	0.10	0.52
	Inverno	Linear	0.68	0.18	-0.01	2	0.86	0.26	0.35

FIGURA A7.80 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE BAMBUÍ (CLIMA *Cwa*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



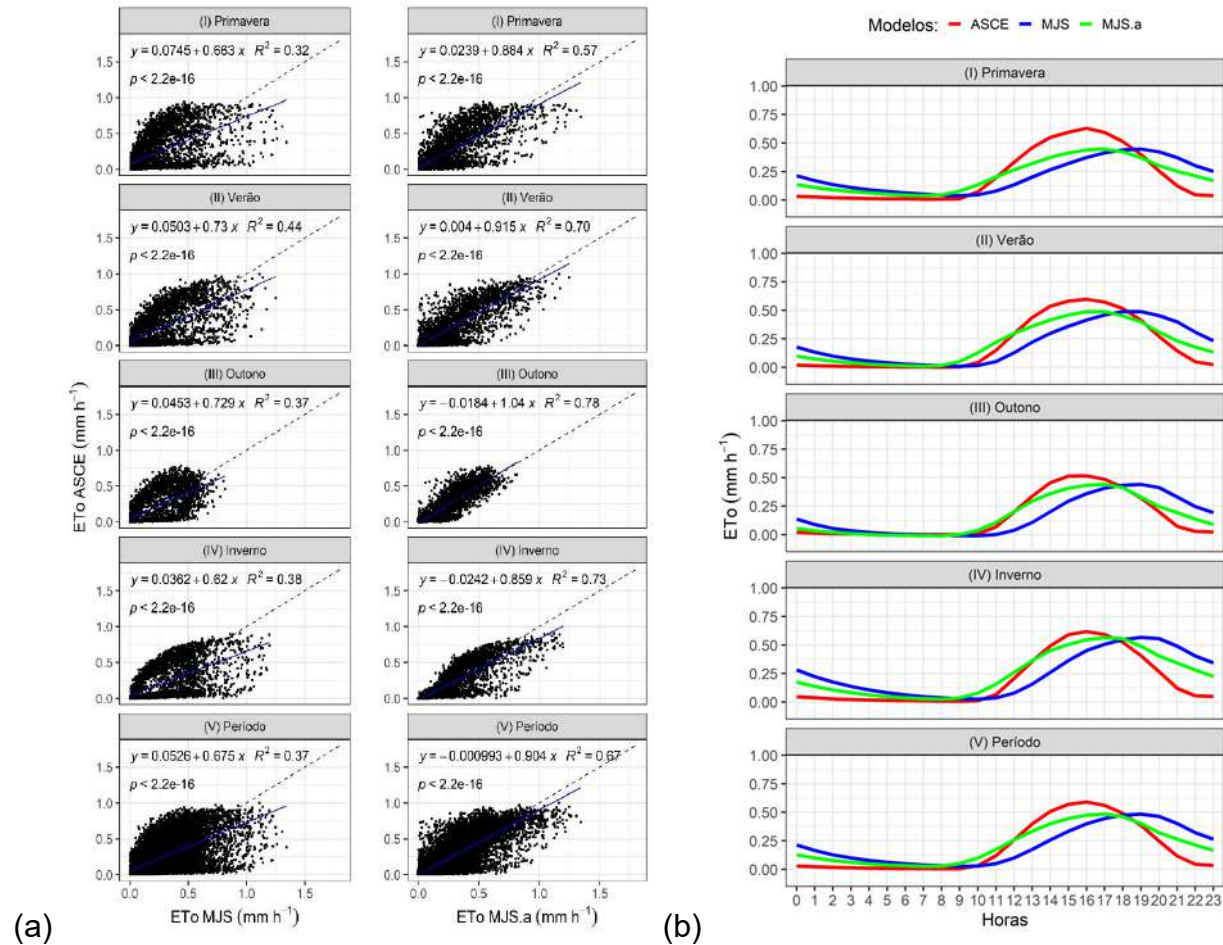
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.81 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE CURVELO (CLIMA Cwa; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



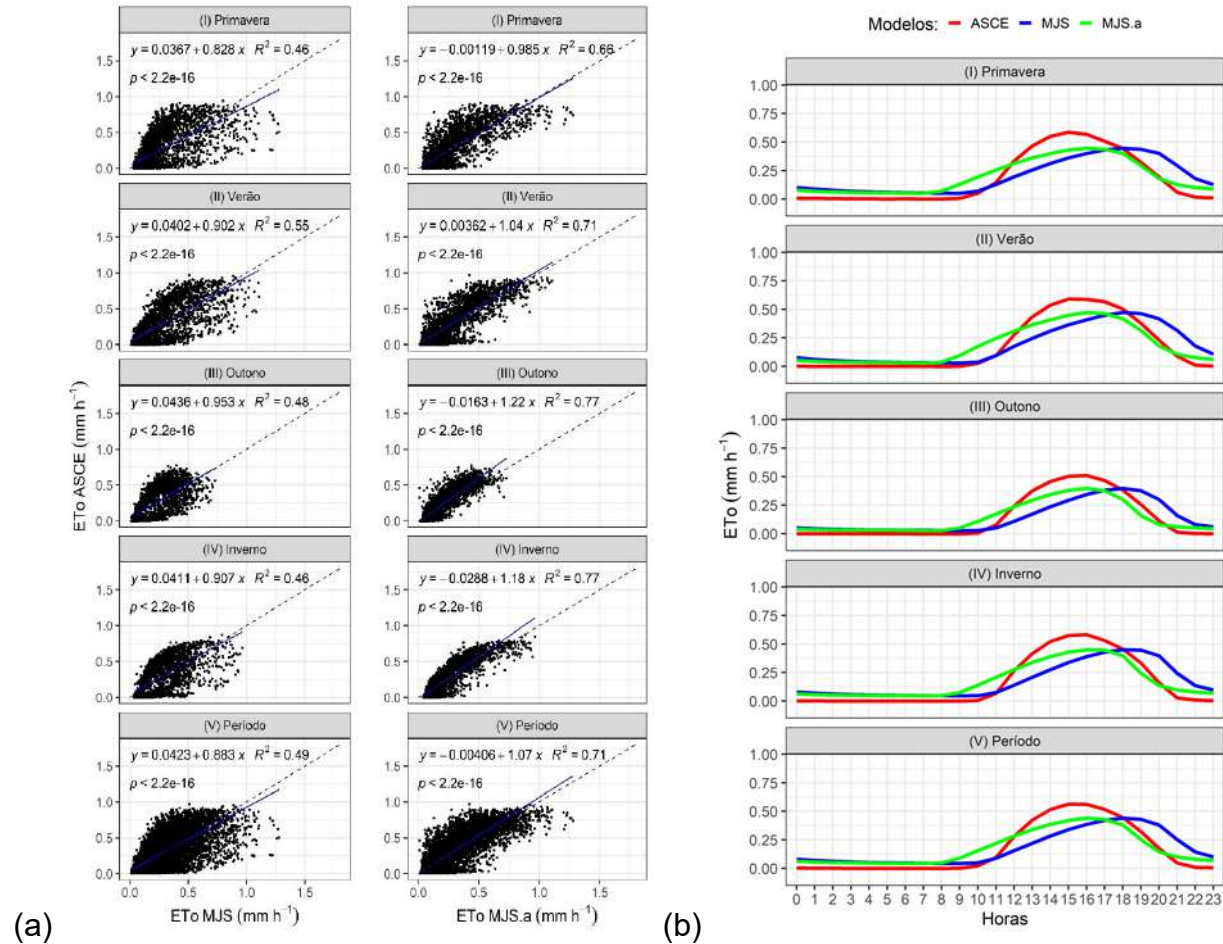
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.82 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE DIVINÓLIS (CLIMA *Cwa*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



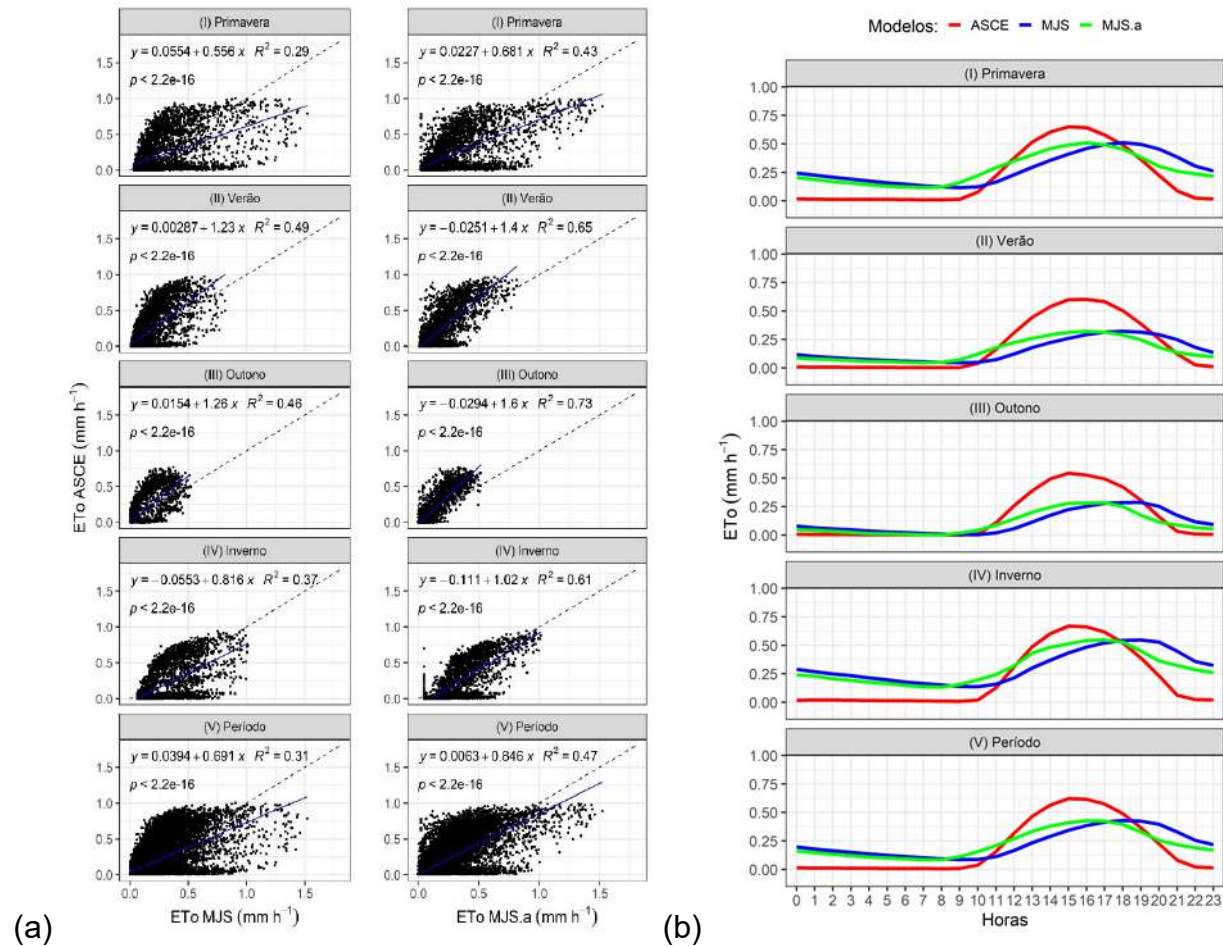
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.83 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE FLORESTA (CLIMA *Cwa*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



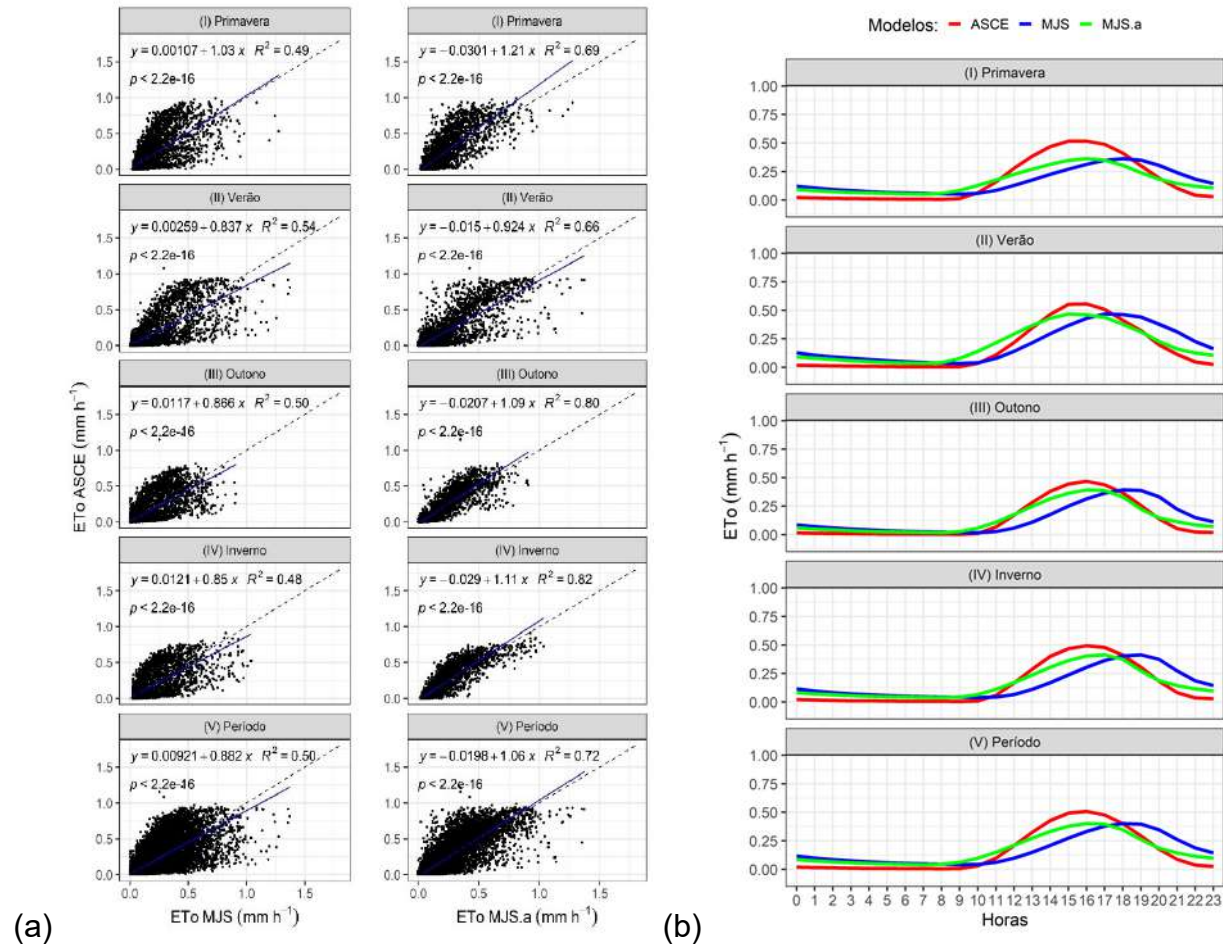
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.84 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PATOS DE MINAS (CLIMA *Cwa*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



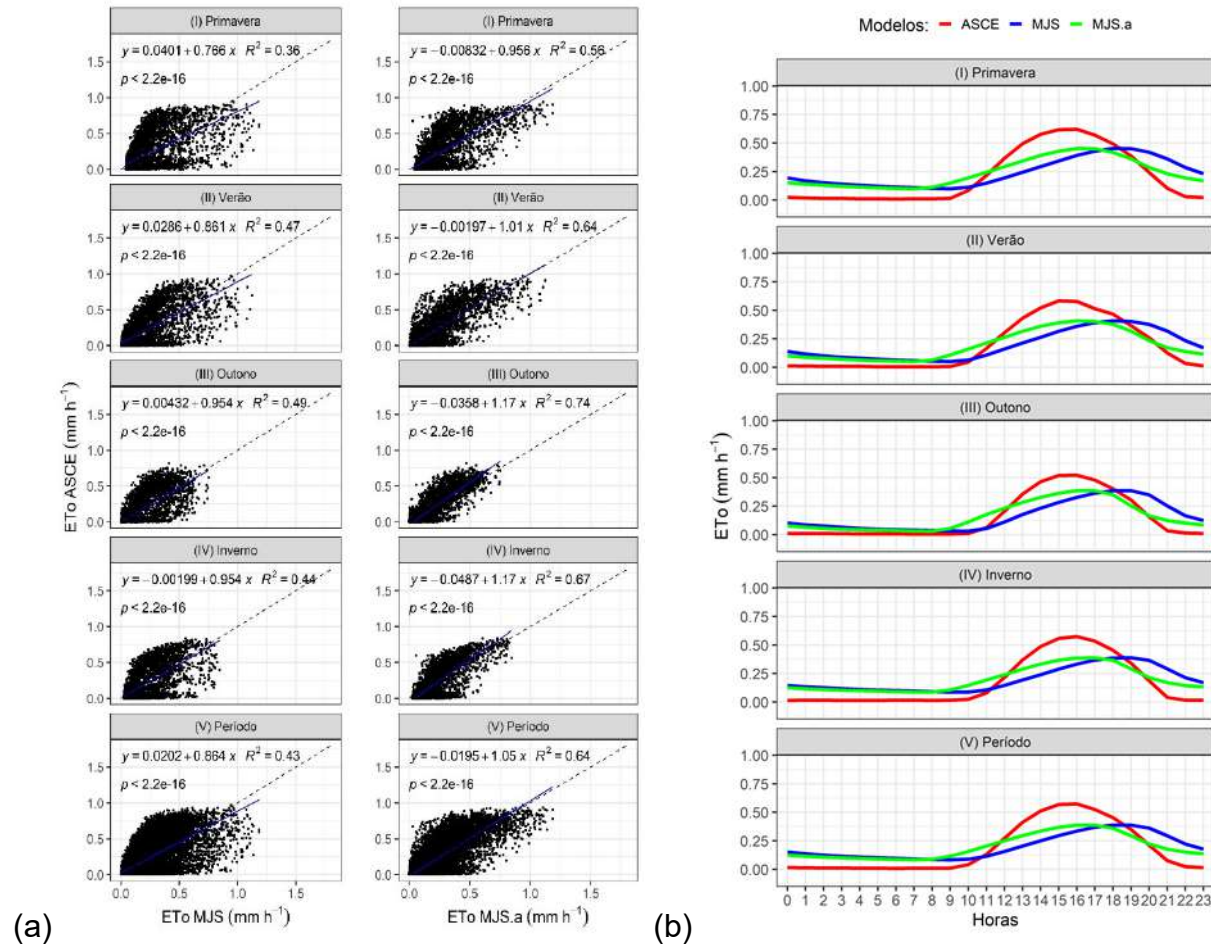
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.85 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE RESENDE (CLIMA Cwa; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



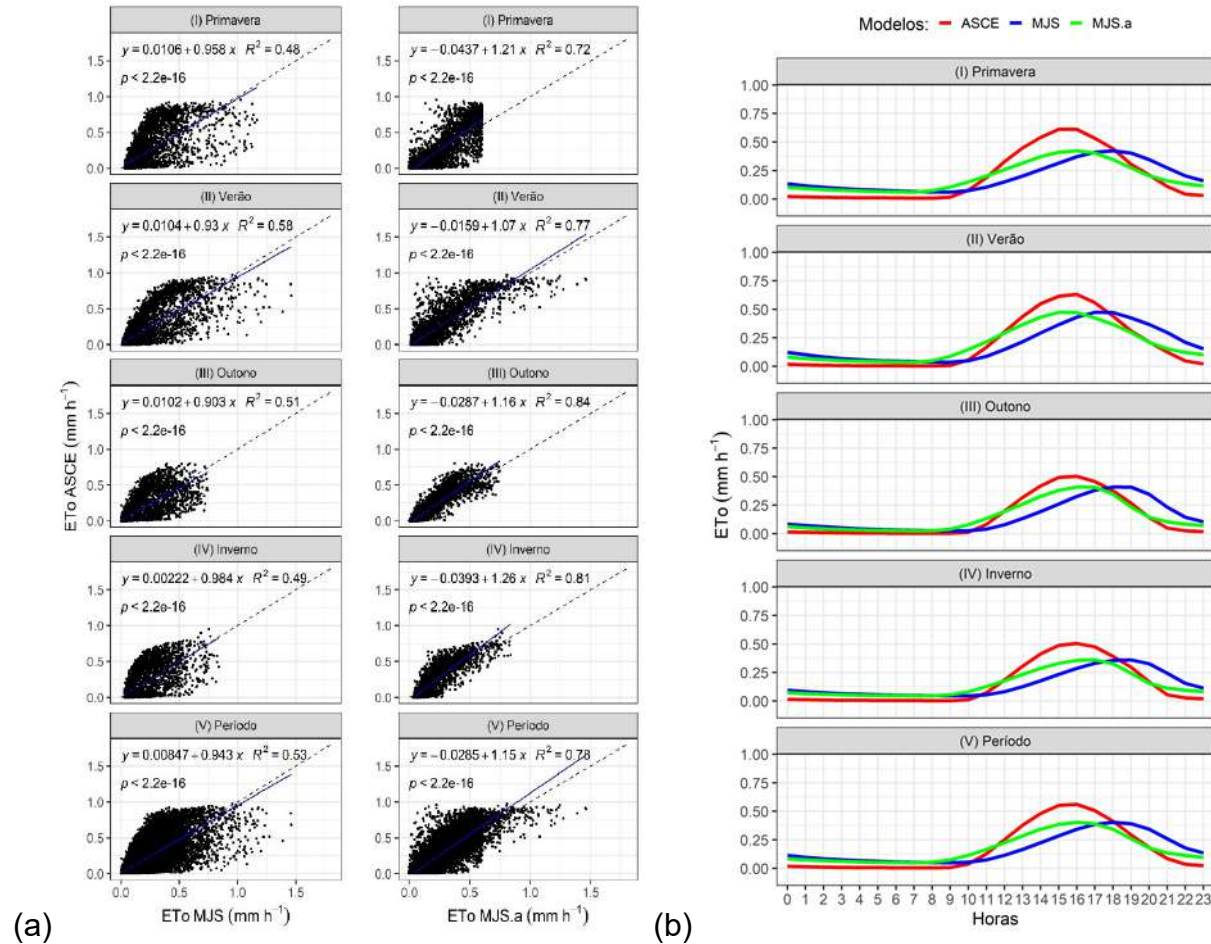
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.86 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE SÃO CARLOS (CLIMA Cwa; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.87 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE TAUBATÉ (CLIMA Cwa; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).

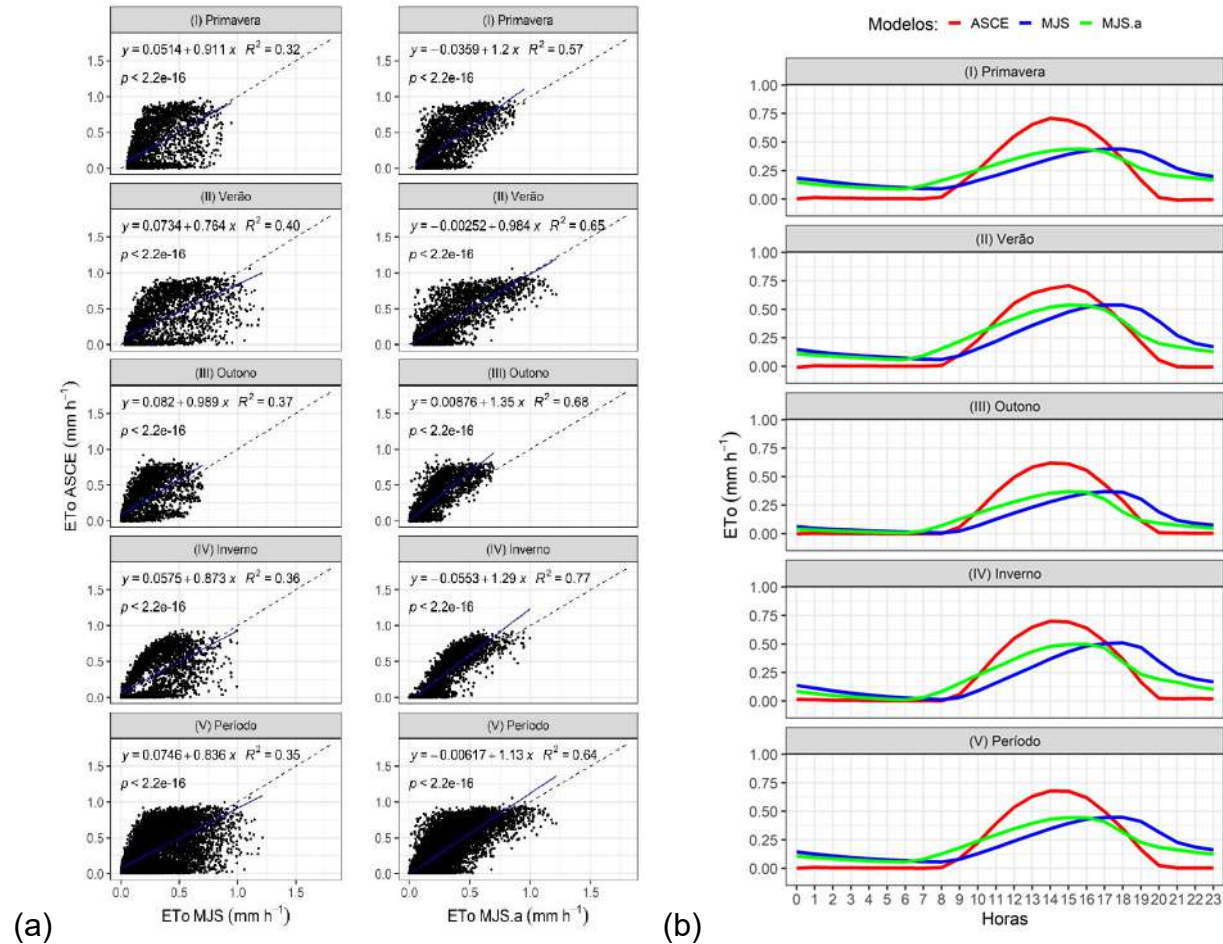


Fonte: O autor (2024).

TABELA A7.9 – INDICADORES ESTATÍSTICOS OBTIDOS NA VALIDAÇÃO, DAS ASSOCIAÇÕES ENTRE ET_o HORÁRIAS (ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020) DAS LOCALIDADES DO CLIMA Cwb , ESTIMADAS COM OS MODELOS $ASCE-PM$ (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURKI-SILVA, ANTES E APÓS AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO ($RMSE$; $mm\ h^{-1}$); COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO (" r "; ADIMENSIONAL); E, EFICIÊNCIA DE NASH-SUTCLIFFE (NSE ; ADIMENSIONAL).

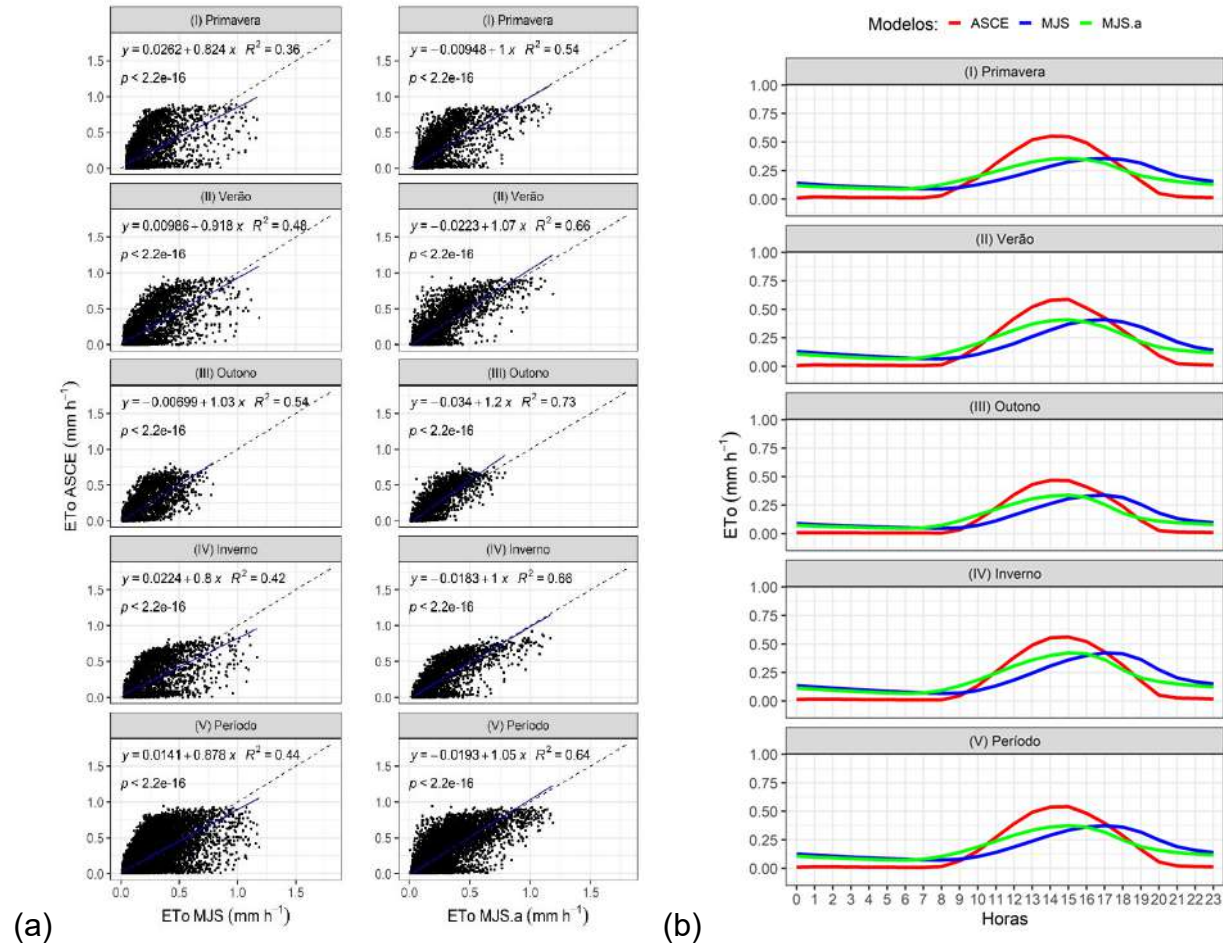
Análise estatística (R ² , RMSE, NSE)									
Localidades	Intervalo	Modelo	-- ET_{ASCE} vs ET_{MJS} --			Ajuste	-- ET_{ASCE} vs $ET_{MJS.a}$ --		
			Antes do ajuste				Após ajuste		
			<i>r</i>	RMSE	NSE	Horas	<i>r</i>	RMSE	NSE
Araxá	Primavera	Linear	0.57	0.24	-0.82	2	0.76	0.19	-0.18
	Verão	Linear	0.67	0.22	0.08	2	0.83	0.16	0.49
	Outono	Linear	0.69	0.18	-0.47	2	0.86	0.15	0.09
	Inverno	Linear	0.64	0.21	-0.21	2	0.88	0.14	0.47
	Período	Linear	0.63	0.21	-0.21	2	0.82	0.16	0.31
Diamantina	Primavera	Linear	0.59	0.19	-0.26	2	0.73	0.16	0.13
	Verão	Linear	0.69	0.18	0.05	2	0.81	0.14	0.38
	Outono	Linear	0.73	0.13	0.05	2	0.85	0.10	0.40
	Inverno	Linear	0.64	0.17	0.04	2	0.81	0.13	0.45
	Período	Linear	0.66	0.17	-0.02	2	0.80	0.14	0.35
Ibirité	Primavera	Linear	0.62	0.20	0.07	2	0.74	0.17	0.35
	Verão	Linear	0.69	0.17	-0.02	2	0.78	0.15	0.24
	Outono	Linear	0.72	0.14	-0.06	2	0.81	0.12	0.21
	Inverno	Linear	0.56	0.22	0.01	2	0.74	0.17	0.43
	Período	Linear	0.67	0.18	0.04	2	0.78	0.15	0.34
Mocambinho	Primavera	Linear	0.55	0.27	-1.13	2	0.76	0.22	-0.38
	Verão	Linear	0.70	0.22	0.11	2	0.85	0.16	0.51
	Outono	Linear	0.66	0.20	-0.62	2	0.85	0.16	-0.02
	Inverno	Linear	0.51	0.26	-0.65	2	0.82	0.18	0.23
	Período	Linear	0.65	0.22	-0.21	2	0.82	0.17	0.27
Média clima <i>Cwb</i>	Primavera	Linear	0.58	0.23	-0.54	2	0.75	0.19	-0.02
	Verão	Linear	0.69	0.20	0.06	2	0.82	0.15	0.41
	Outono	Linear	0.70	0.16	-0.28	2	0.84	0.13	0.17
	Inverno	Linear	0.59	0.22	-0.20	2	0.81	0.16	0.40
	Período	Linear	0.65	0.20	-0.10	2	0.81	0.16	0.32

FIGURA A7.88 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE ARAXÁ (CLIMA Cwb; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



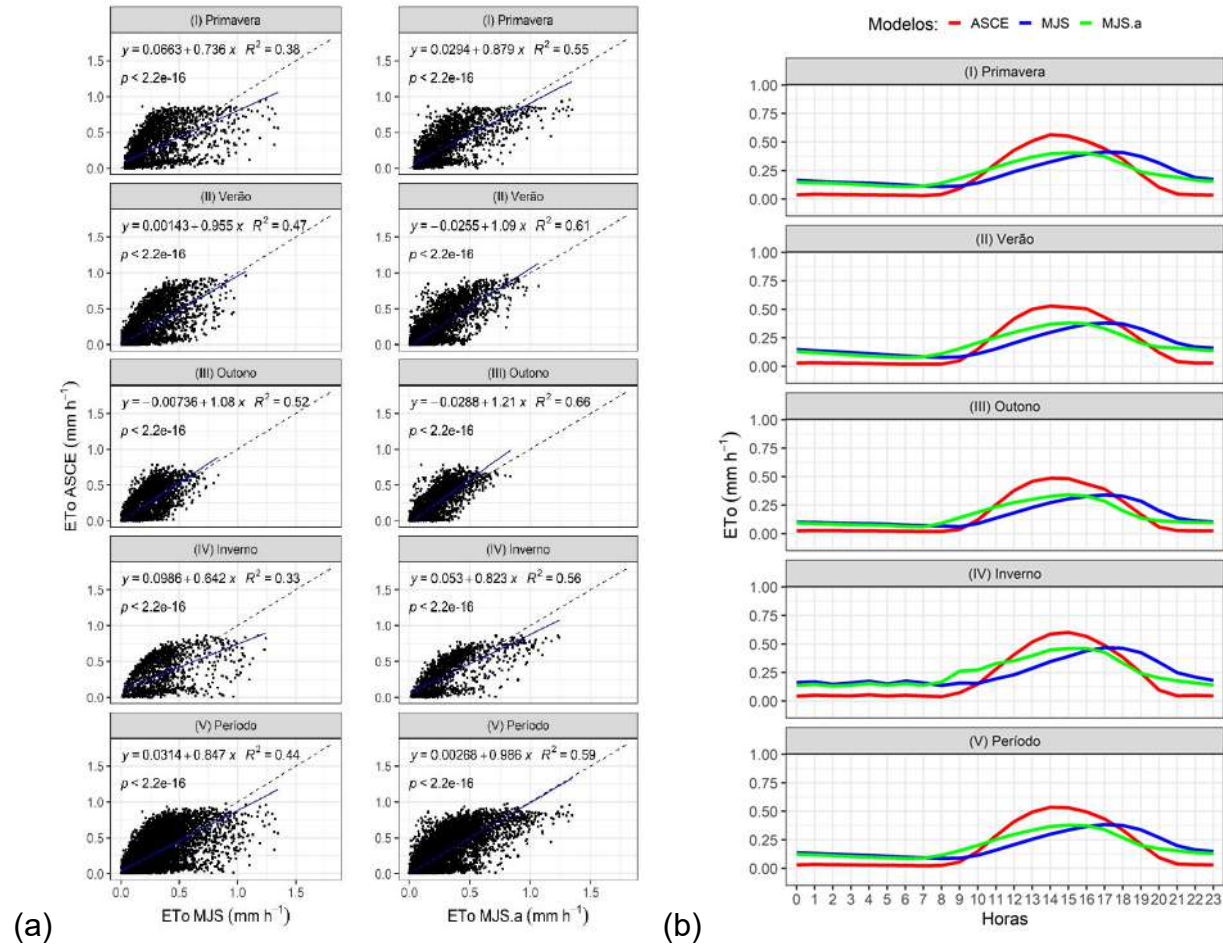
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.89 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE DIAMANTINA (CLIMA *Cwb*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



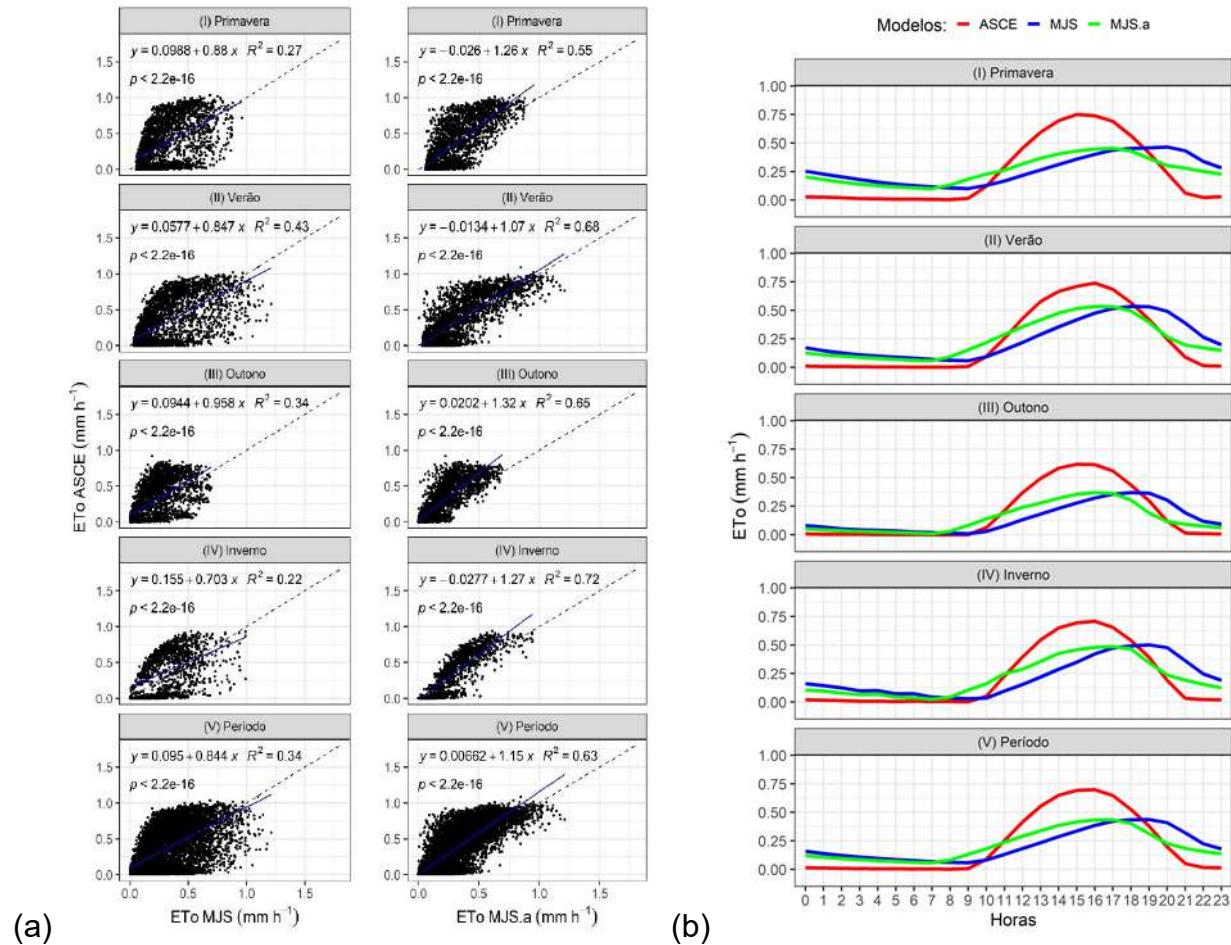
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A7.90 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE IBIRITÉ (CLIMA *Cwb*; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE ($MJS.a$).



Fonte: O autor (2024).

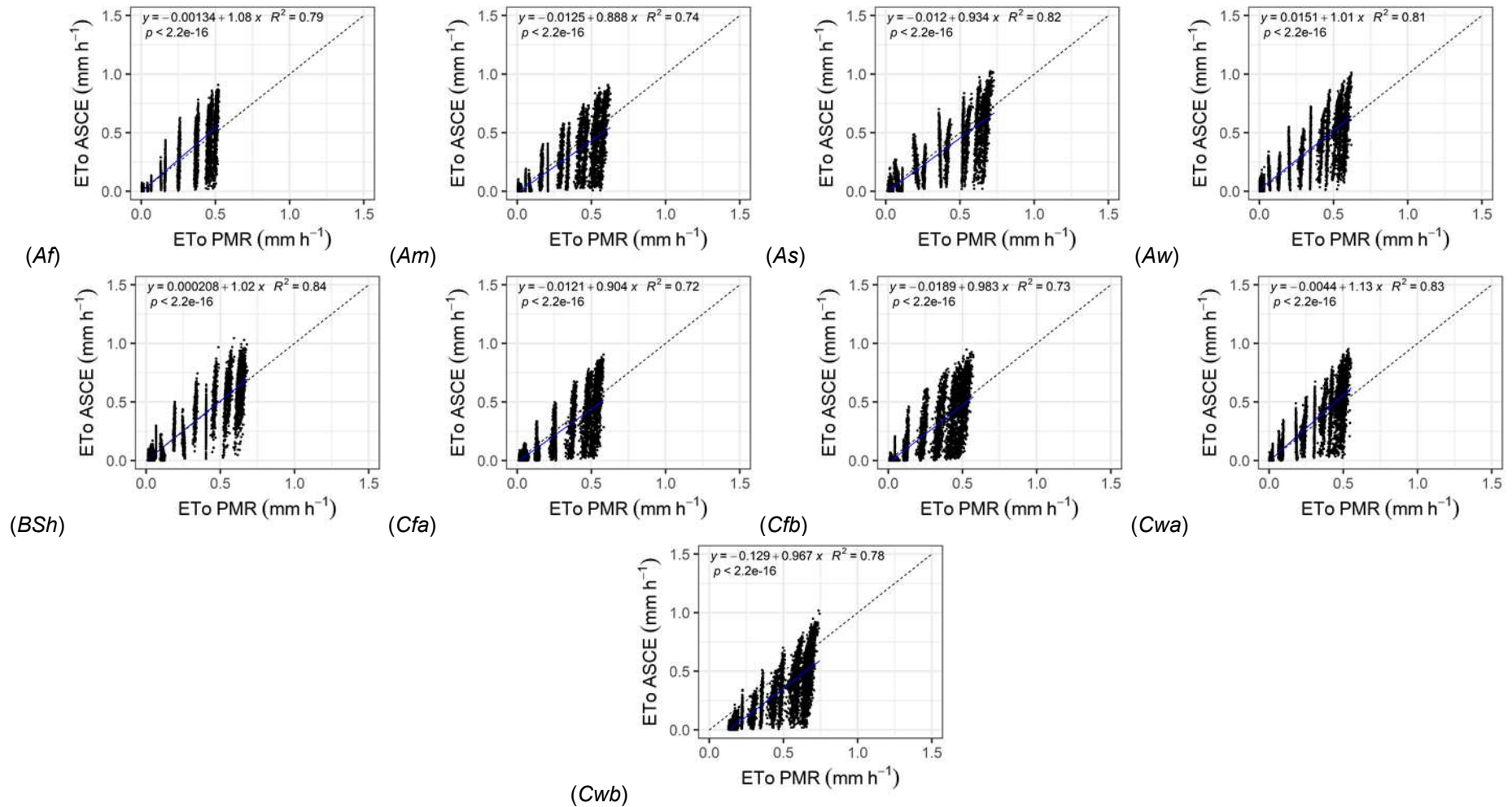
FIGURA A7.91 – ANÁLISES PARA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE MOCAMBINHO (CLIMA Cwb; DADOS MEDIDOS ENTRE 01/01/2019 E 31/12/2020), SENDO: a) ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS ASCE (ET_{oASCE}) PADRÃO E MORETTI-JERSZURK-SILVA, ANTES E APÓS O AJUSTE DO DESCOMPASSO (ET_{oMJS} E $ET_{oMJS.a}$, RESPECTIVAMENTE); b) TENDÊNCIA CENTRAL HORÁRIA DA ET_o (ESTACIONAL E DO PERÍODO) DOS MODELOS ASCE E MORETTI-JERSZURK-SILVA LINEAR, ANTES (MJS) E APÓS AJUSTE (MJS.a).



Fonte: O autor (2024).

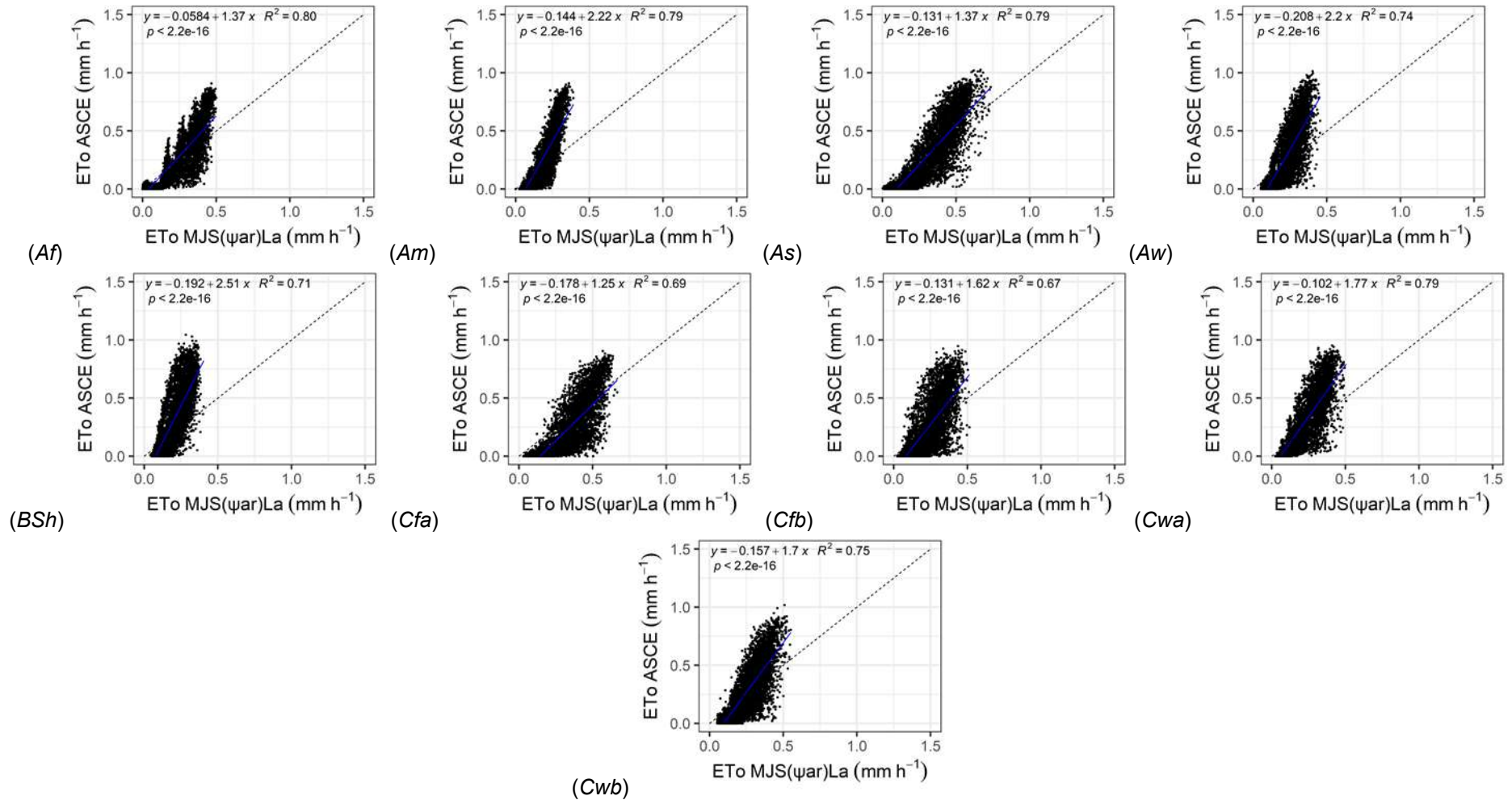
APÊNDICE 8 – VALIDAÇÃO DE MODELOS ALTERNATIVOS (*PMR*, *MJS* E *TURC*) DE ESTIMATIVA DA *ET_o* HORÁRIA E DIÁRIA PARA OS TIPOS CLIMÁTICOS BRASILEIROS (*Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* E *Cwb*), TENDO SOMENTE A TEMPERATURA DO AR COMO VARIÁVEL DE ENTRADA, CONSIDERANDO O MODELO *ASCE-PM* COMO PADRÃO

FIGURA A8.1 – ASSOCIAÇÃO E VALIDAÇÃO DAS ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS ($ET_{oASCE,h}$; PADRÃO) E PENMAN-MONTEITH-REDUZIDO (PMR,h ; ALTERNATIVO), PARA OS CLIMAS BRASILEIROS (Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa E Cwb)



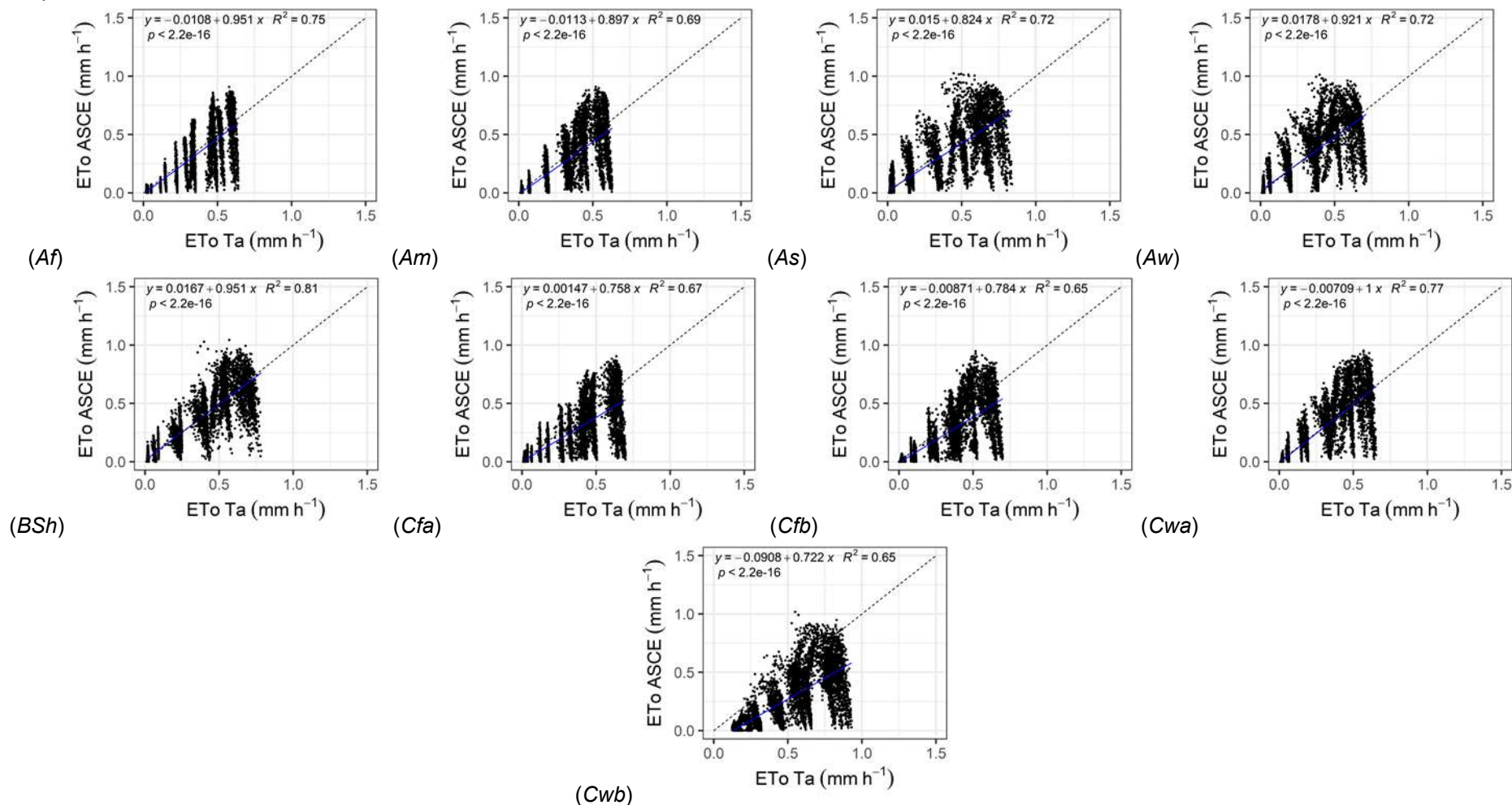
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A8.2 – ASSOCIAÇÃO E VALIDAÇÃO DAS ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS ($ET_{oASCE,h}$; PADRÃO) E MORETTI-JERSZURKI-SILVA AJUSTADO ($ET_{oMJS(\psi ar)La,h}$; ALTERNATIVO), PARA OS CLIMAS BRASILEIROS (Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa E Cwb).



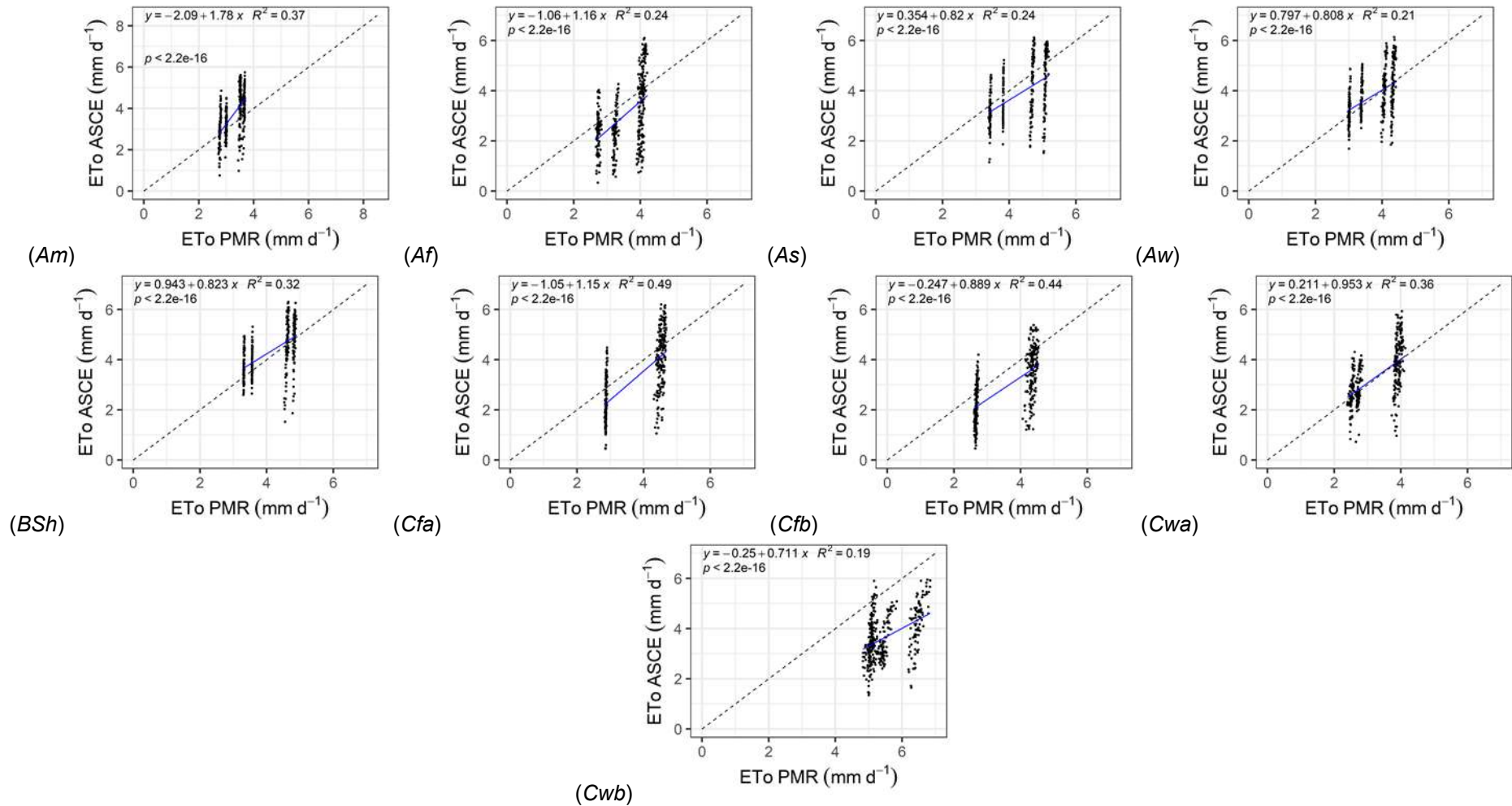
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A8.3 – ASSOCIAÇÃO E VALIDAÇÃO DAS ET_o HORÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS ($ET_{oASCE,h}$; PADRÃO) E TURC AJUSTADO ($ET_{oTa,h}$; ALTERNATIVO), PARA OS CLIMAS BRASILEIROS (*Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* E *Cwb*).



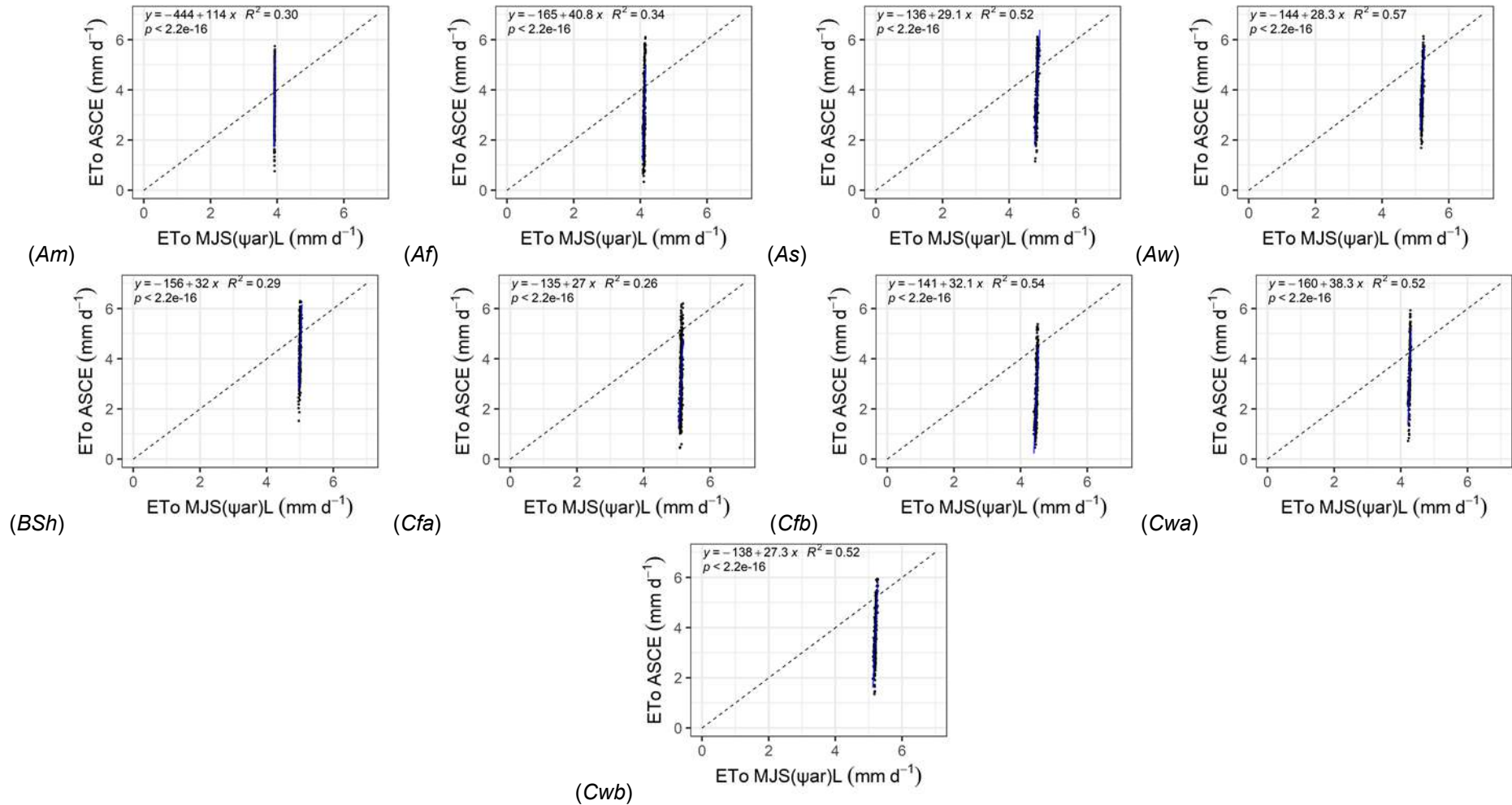
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A8.4 – ASSOCIAÇÃO E VALIDAÇÃO DAS ET_o DIÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS ($ET_{oASCE,h}$; PADRÃO) E PENMAN-MONTEITH-REDUZIDO ($PMR.d$; ALTERNATIVO), PARA OS CLIMAS BRASILEIROS (Af , Am , As , Aw , BSh , Cfa , Cfb , Cwa E Cwb).



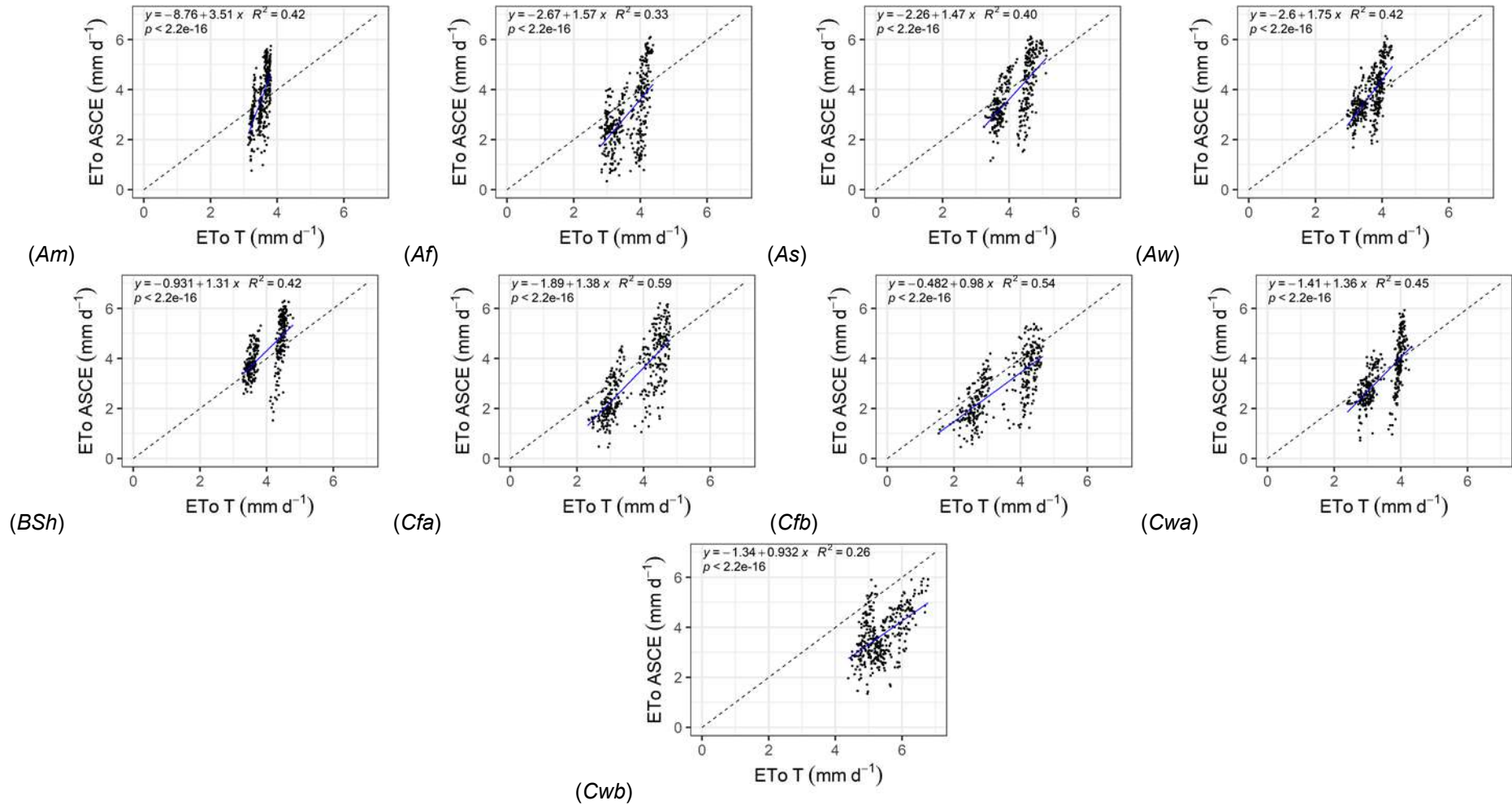
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A8.5 – ASSOCIAÇÃO E VALIDAÇÃO DAS ET_o DIÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS ($ET_{oASCE,h}$; PADRÃO) E MORETTI-JERSZURKI-SILVA ($ET_{oMJS}(\psi_{ar})L_d$; ALTERNATIVO), PARA OS CLIMAS BRASILEIROS (*Af*, *Am*, *As*, *Aw*, *BSh*, *Cfa*, *Cfb*, *Cwa* E *Cwb*).



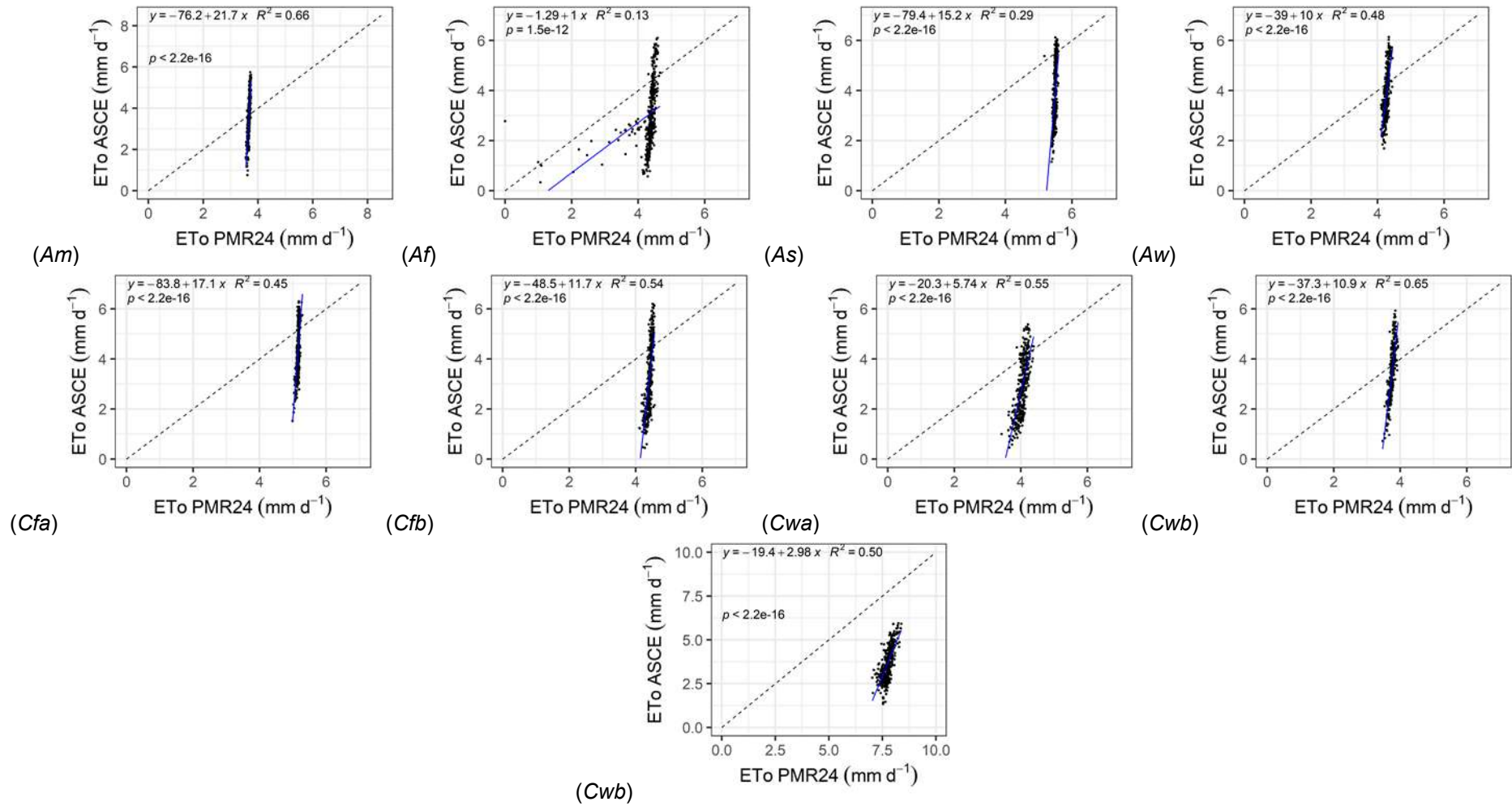
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A8.6 – ASSOCIAÇÃO E VALIDAÇÃO DAS ET_0 DIÁRIAS ESTIMADAS COM OS MODELOS AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS ($ET_{0ASCE,h}$; PADRÃO) E TURC ($ET_{0T,d}$; ALTERNATIVO), PARA OS CLIMAS BRASILEIROS (Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa E Cwb).



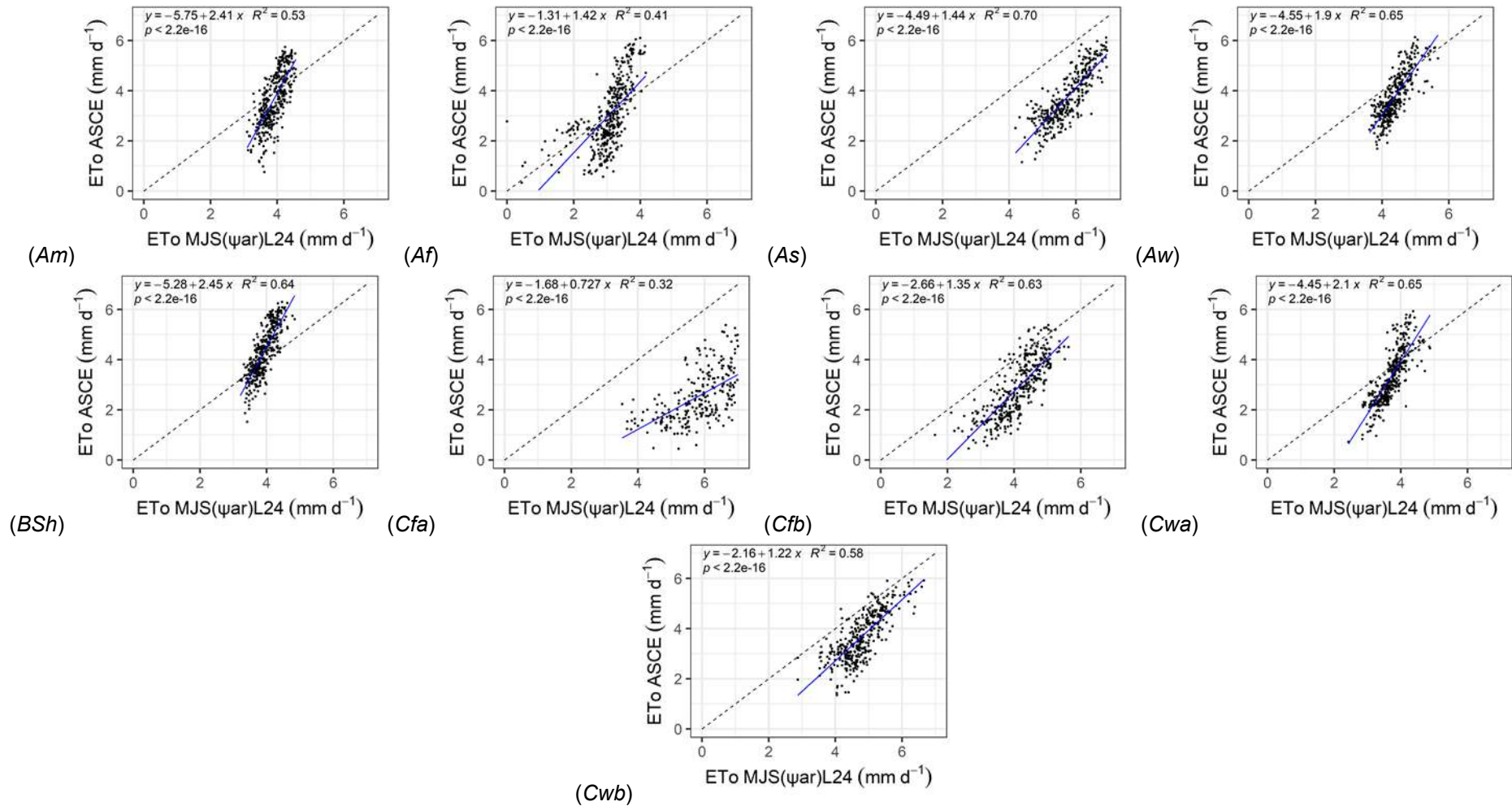
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A8.7 – ASSOCIAÇÃO E VALIDAÇÃO DAS ET_o DIÁRIAS (OBTIDAS COM O SOMÁTÓRIO DE 24 HORAS) ESTIMADAS COM OS MODELOS AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS ($ET_{oASCE,h}$; PADRÃO) E PENMAN-MONTEITH-REDUZIDO ($PMR.d$; ALTERNATIVO), PARA OS CLIMAS BRASILEIROS (Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa E Cwb).



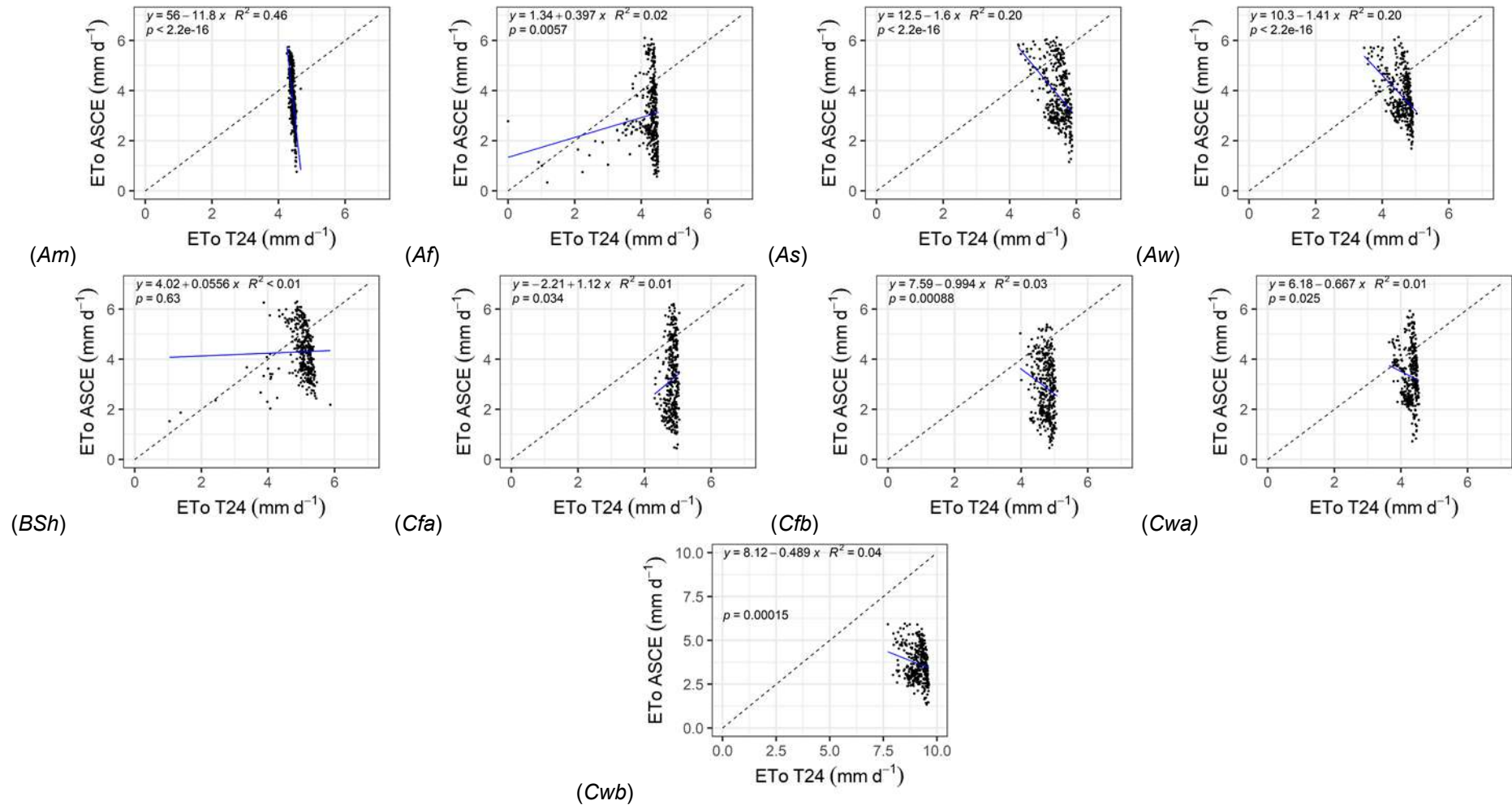
Fonte: O autor (2024).

FIGURA A8.8 – ASSOCIAÇÃO E VALIDAÇÃO DAS ET_o DIÁRIAS (OBTIDAS COM O SOMÁTÓRIO DE 24 HORAS) ESTIMADAS COM OS MODELOS AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS ($ET_{oASCE.h}$; PADRÃO) E MORETTI-JERSZURKI-SILVA ($ET_{oMJS(\varphi ar)L24}$; ALTERNATIVO), PARA OS CLIMAS BRASILEIROS (*Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa* E *Cwb*).



Fonte: O autor (2024).

FIGURA A8.9 – ASSOCIAÇÃO E VALIDAÇÃO DAS ET_o DIÁRIAS (OBTIDAS COM O SOMÁTÓRIO DE 24 HORAS) ESTIMADAS COM OS MODELOS AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS ($ET_{oASCE,h}$; PADRÃO) E TURC ($ET_{oT,d}$; ALTERNATIVO), PARA OS CLIMAS BRASILEIROS (Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa E Cwb).



Fonte: O autor (2024).