

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**Tendência histórica e variabilidade do brilho solar e  
modelagem da radiação solar em Santa Maria, RS**

**TESE DE DOUTORADO**

**Gizelli Moiano de Paula**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2012**

**Tendência histórica e variabilidade do brilho solar e modelagem  
da radiação solar em Santa Maria, RS**

**por**

**Gizelli Moiano de Paula**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Agrícola, Área de concentração Engenharia de Água e Solo, da  
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para  
obtenção do grau de  
**Doutor em Engenharia Agrícola**

**Orientador: Prof. Nereu Augusto Streck**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2012**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

MOIANO DE PAULA, GIZELLI

Tendência histórica e variabilidade do brilho solar e modelagem da radiação solar em Santa Maria, RS / GIZELLI MOIANO DE PAULA.-2012.

198 p.; 30cm

Orientador: Nereu Augusto Streck

Coorientadores: Arno Bernardo Heldwein, Simone

Erotildes Teliginski Ferraz

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2012

1. Insolação 2. Pettitt 3. Mann-Kendall 4. Mudança Climática 5. Heterogeneidade I. Streck, Nereu Augusto II. Heldwein, Arno Bernardo III. Teliginski Ferraz, Simone Erotildes IV. Título.

---

© 2012

Todos os direitos autorais reservados a Gizelli Moiano de Paula. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: UFSM - Av. Roraima nº 1000 – Departamento: Fitotecnia - Santa Maria – RS  
CEP: 97105-900. Fone: (55) 91012353. E – mail: gizellidepaula@gmail.com

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a tese de Doutorado

**Tendência histórica e variabilidade do brilho solar e modelagem da  
radiação solar em Santa Maria, RS**

Apresentado por  
**Gizelli Moiano de Paula**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutor em Engenharia Agrícola**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

Nereu Augusto Streck, PhD.  
(Presidente/Orientador)

---

Arno Bernardo Heldwein, Dr. (UFSM)

---

Evandro Zanini Righi, Dr. (UFSM)

---

Cleber Maus Alberto, Dr. (UNIPAMPA)

---

Luciano Streck, Dr. (IFC)

Santa Maria, 02 de fevereiro de 2012.

**Dedico com muito amor sempre às pessoas mais importantes da minha vida, Thiago meu esposo e Conrado meu filho, por mais três anos de compreensão.**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus ...

Ao Conrado e Thiago, razão de tudo...

À minha família...

Ao meu orientador, professor Nereu Augusto Streck e co-orientadores...

À Universidade Federal de Santa Maria...

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola...

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)

Aos colegas do Departamento de Fitotecnia, principalmente aos da sala 2 e 30 ...

Aos amigos...

... Muito Obrigada!

**Ando devagar  
Porque já tive pressa  
Levo esse sorriso  
Porque já chorei demais.**

**Hoje me sinto mais forte,  
Mais feliz, quem sabe,  
Só levo a certeza  
De que muito pouco sei,  
Ou nada sei**

**Conhecer as manhas  
E as manhãs  
O sabor das massas  
E das maçãs**

**É preciso amor  
Pra poder pulsar  
É preciso paz pra poder sorrir  
É preciso a chuva para florir**

**Penso que cumprir a vida  
Seja simplesmente  
Compreender a marcha  
E ir tocando em frente**

**Como um velho boiadeiro  
Levando a boiada  
Eu vou tocando os dias  
Pela longa estrada, eu vou  
Estrada eu sou...**

**Todo mundo ama um dia,  
Todo mundo chora  
Um dia a gente chega  
E no outro vai embora...**

**Cada um de nos compõe a sua historia  
Cada ser em si  
Carrega o dom de ser capaz  
E ser feliz**

*Almir Sater e Renato Teixeira*

## **RESUMO**

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **Tendência histórica e variabilidade do brilho solar e modelagem da radiação solar em Santa Maria, RS**

AUTORA: GIZELLI MOIANO DE PAULA

ORIENTADOR: NEREU AUGUSTO STRECK

Local e data da defesa: Santa Maria, 02 de fevereiro de 2012.

Os objetivos deste trabalho foram testar a homogeneidade dos dados mensais de brilho solar do período de 1912 a 2010 e horários de brilho solar do período de 1968 a 2010, recalculando as estatísticas descritivas do brilho solar diário, mensal e sazonal em Santa Maria, RS, caracterizar a tendência secular e a variabilidade interanual e interdecadal do brilho solar mensal e horário e ajustar e testar a equação de Ångström - Prescott e Penman para estimativa da densidade de fluxo de radiação solar global incidente em nível horário e em diferentes períodos do dia para Santa Maria, RS. Os dados de brilho solar e de radiação solar analisados foram medidos na Estação Climatológica Principal do Instituto Nacional de Meteorologia (8° DISME/INMET), localizada no Campo Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria. Foram usados os testes Run, Mann-Kendall e Pettitt para análise de homogeneidade e tendências respectivamente, e o método da função densidade espectral de potências para detectar ciclos anuais e interdecadais relacionados aos fenômenos El Niño Oscilação Sul e Oscilação Decadal do Pacífico. As séries históricas mensais e sazonais de brilho solar em Santa Maria, RS, no período de 1912 a 2010 são homogêneas para todos os meses e estações do ano, exceto para o mês de dezembro e outono. Nas séries históricas mensais e sazonais de brilho solar em Santa Maria, RS, no período de 1912 a 2010 não há tendência de aumento ou diminuição, ou seja, as séries são estacionárias. Há grande variabilidade interanual e interdecadal nas séries históricas de brilho solar em Santa Maria, RS, indicando sinal do fenômeno El Niño Oscilação Sul e da Oscilação Decadal do Pacífico neste elemento climático. A série de brilho solar médio mensal diário e a série de brilho solar nos períodos do dia, no intervalo das 9 às 15 horas apresentou tendências decrescentes, principalmente no mês de outubro e primavera. Existe variabilidade interanual na série de brilho solar média mensal diário e nas séries de brilho solar no diferentes períodos do dia. Em anos de La Niña aumenta a média de brilho solar diário e nos diferentes períodos do dia nos meses de outubro, novembro e dezembro. Em anos de El Niño aumenta a média de brilho solar diário e nos diferentes períodos do dia nos meses de janeiro e fevereiro. A estimativa da radiação solar global pela equação de Ångström modificada por Prescott e Penman não foi precisa em nível horário e nos diferentes sub-períodos do dia, por isso sugere-se que sejam testados por outros modelos as estimativas da estimativa da radiação solar global horária.

**Palavras-chaves:** Homogeneidade, Mudança climática, insolação, Mann- Kendall, Pettitt.

## **ABSTRACT**

Doctoral Thesis  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **Historical trends and variability of sunshine and solar radiation modeling in Santa Maria, RS**

AUTHOR: GIZELLI MOIANO DE PAULA

ADVISOR: NEREU AUGUSTO STRECK

Location and date of presentation: Santa Maria, February 02<sup>nd</sup>, 2012

The objectives of this study were to test the homogeneity of monthly data of sunshine period from 1912 to 2010 hours of sunshine and the period from 1968 to 2010, recalculate the descriptive statistics of sunshine daily, monthly and seasonal Santa Maria, RS, characterize the secular trend and interdecadal and interannual variability of monthly sunshine hours and adjust and test the Ångström - Prescott and Penman equation to estimate the flux density of incident solar radiation level and in different time periods of the day for Santa Maria, RS. The data of sunshine duration and solar radiation were measured at the meteorological station of the Brazilian National Weather Center (8° DISME/INMET), located in the Experimental Department, Federal University of Santa Maria. The Run tests, and the Mann-Kendall and Pettitt tests were used for analysis of homogeneity and trends in the series respectively, and the power spectral density was used for detecting annual and decadal cycles related to El Niño Oscillation Southern and Pacific Decadal Oscillation. The time series of monthly and seasonal sunshine in Santa Maria, in the period 1912-2010 are homogeneous for all months and seasons, except for the months of December and autumn. In the time series of monthly and seasonal sunshine in Santa Maria, in the period 1912 to 2010 there is no trends to increase or decrease, ie the series are stationary. There are large interannual and interdecadal variability in the time series of sunshine in Santa Maria, RS, indicating a sign of El Niño Oscillation Southern and Pacific Decadal Oscillation climate in this element. The number of sunshine daily and average monthly number of sunshine during the periods of the day, in the range from 9 to 15 hours showed decreasing trends, especially in October and spring. There is interannual variability in the series of monthly average daily sunshine and the series of sunlight at different times of day. In La Niña years increased the mean daily sunshine and the different times of day in October, November and December. In El Niño years increased the mean daily sunshine and the different times of day during the months of January and February. The estimation of the global solar radiation by the Ångström equation modified by Prescott and Penman was not precise level and time in the different sub-periods of the day, it is suggested to be tested models of other estimates of the estimate of global radiation hourly.

**Key words:** Homogeneity, Climate Change, Time series, sunshine, Mann-Kendall, Pettitt.

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 – Heliógrafo Campbell-Stokes instalado na Estação Climatológica Principal da UFSM (A). Fonte: a autora e (B) Heliogramas ou Fitas Heliográficas. Fonte: VAREJÃO–SILVA (2006).....20
- FIGURA 2 – Observatório do Instituto Coussirat Araujo, Praça Saldanha Marinho,1927. Fonte: Ação Documental do Acervo Museológico da Casa de Memória Edmundo Cardoso (CMEC/ Prefeitura Municipal de Santa Maria).....30
- FIGURA 3 – Estação Climatológica do Departamento Nacional de Meteorologia instalada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria no ano de 1967. Fonte: Estação Climatológica Principal Santa Maria, RS..... 31
- FIGURA 4 – Estação Climatológica Principal e ao fundo a Estação Automática do INMET no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria no ano de 2011. Fonte a autora.....31
- FIGURA 5 – Imagem de satélite da localização da Estação Climatológica Principal do INMET no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (no detalhe do interior do retângulo) e a alameda de Pinus (indicada pelas setas). Fonte: Google Earth, 2011.....32
- FIGURA 6 – Heliógrafo da Estação Climatológica Principal do INMET no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria e ao fundo a alameda de Pinus no lado Oeste da Estação a aproximadamente 180 m. Fonte: a autora.....32
- FIGURA 7 – Espectro eletromagnético. Fonte: LUTGENS et al. (2004).....34
- FIGURA 8 – Série histórica de brilho solar mensal com falhas (linha pontilhada), série preenchida com a média dos anos de ENOS e anos Neutros (linha contínua vermelha) e a série preenchida com a média aritmética (linha contínua preta) nos períodos 1912 a 1967 e 1968 a 2010 em Santa Maria, RS. janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L).....45
- FIGURA 9 – Anomalias médias mensais da série histórica de brilho solar preenchida com a média dos anos de ENOS e anos Neutros para os períodos 1912 a 1967 e 1968 a 2010 em Santa Maria, RS.....46
- FIGURA 10 – Série histórica mensal de brilho solar preenchida com a média dos anos de ENOS e anos Neutros nos períodos 1912 a 1967 e 1968 a 2010 e a mesma série livre de tendência em Santa Maria, RS. janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L).....47
- FIGURA 11 – Densidade espectral de potências com defasagem (lag) de 80 anos para as séries históricas de brilho solar mensais de Santa Maria, RS, no período 1912-

2010. A linha pontilhada indica o nível de 95% de probabilidade pelo teste qui-quadrado, ou seja, ciclos acima da linha pontilhada são significativos a 5%. janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L).....52

FIGURA 12 – Densidade espectral de potências com defasagem (lag) de 80 anos para as séries históricas de brilho solar de Santa Maria, RS, para as estações do ano no período 1912-2010. A linha pontilhada indica o nível de 95% de probabilidade pelo teste qui-quadrado, ou seja, ciclos acima da linha pontilhada são significativos a 5%. outono (A), inverno (B), primavera (C) e verão (D).....53

FIGURA 13 – Brilho solar mensal em anos de ENOS e anos Neutros em Santa Maria, RS, no período 1912-2010.....54

FIGURA 14 – Brilho solar sazonal em anos de ENOS e anos Neutros em Santa Maria, RS, no período 1912-2010.....54

FIGURA 15 – Brilho solar mensal nas fases da ODP em Santa Maria, RS, no período 1912-2010.....55

FIGURA 16 – Brilho solar médio mensal nas estações do ano nas fases da ODP em Santa Maria, RS, no período 1912-2010.....56

FIGURA 17 – Brilho solar médio mensal diário para os meses de janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....64

FIGURA 18 – Brilho solar médio mensal diário para as estações do ano verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010. ....65

FIGURA 19 – Brilho solar médio mensal para o período da manhã nos meses de janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....67

FIGURA 20 – Brilho solar médio mensal no período da manhã nas estações do ano verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....68

FIGURA 21 – Brilho solar médio mensal para o período da tarde nos meses de janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....69

FIGURA 22 – Brilho solar médio mensal no período da tarde nas estações do ano verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010. ....70

- FIGURA 23 – Brilho solar médio mensal para o período da manhã 1 (início do registro até às 9 horas) nos meses de janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....71
- FIGURA 24 – Brilho solar médio mensal no período da manhã 1 (início do registro até às 9 horas) nas estações do ano verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....72
- FIGURA 25 – Brilho solar médio mensal para o período da manhã 2 (das 9 às 12 horas) nos meses de janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010..... 73
- FIGURA 26 – Brilho solar médio mensal no período da manhã 2 (das 9 às 12 horas) nas estações do ano verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....74
- FIGURA 27 – Brilho solar médio mensal para o período da tarde 1 (das 12 às 15 horas) nos meses de janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....75
- FIGURA 28 – Brilho solar médio mensal no período da tarde 1 (das 9 às 12 horas) nas estações do ano verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....76
- FIGURA 29 – Brilho solar médio mensal para o período da tarde 2 (após as 15 horas) nos meses de janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....77
- FIGURA 30 – Brilho solar médio mensal no período da tarde 2 (após as 15 horas) nas estações do ano verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....78
- FIGURA 31 – Média mensal de brilho solar no período diário (A), manhã= início do registro de brilho solar as 12 h (B), tarde= das 12 h ao fim do registro do brilho solar (C), manhã1= início do registro de brilho solar às 9 h (D), manhã 2= das 9 às 12 h (E), tarde 1= das 12 h às 15 h (F) e tarde 2= das 15 h ao fim de registro do brilho solar (G) nas fases do ENOS em Santa Maria, RS, no período 1968-2010.....80

## LISTA DE TABELAS

- TABELA 1 – Estatísticas descritivas da série histórica de brilho solar mensal e sazonal em Santa Maria, RS, no período de 1912 a 2010.....48
- TABELA 2 – Teste de Sequência ou Teste Run ( $Z$ ), Teste Mann-Kendall ( $\tau$ ), o Teste Pettitt ( $K$ ) e suas probabilidades aplicados à série histórica de brilho solar mensal e sazonal em Santa Maria, RS, no período de 1912 a 2010.....50
- TABELA 3 – Média mensal ( $h\ d^{-1}$ ), desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV) (%), máximo e mínimo valores absolutos de brilho solar médio mensal diário e nos períodos do dia manhã, tarde, manhã 1 e manhã 2 e tarde 1 e tarde 2 em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....58
- TABELA 4 – Média mensal de brilho solar ( $h\ d^{-1}$ ), desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV) (%), máximo e mínimo valores absolutos de brilho solar médio mensal diário e nos períodos do dia manhã, tarde, manhã 1 e manhã 2 e tarde 1 e tarde 2 em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....59
- TABELA 5 – Teste de Sequência ou Teste Run ( $Z$ ), Teste Mann-Kendall ( $\tau$ ), o Teste Pettitt ( $K$ ) e suas probabilidades aplicados à série histórica de brilho solar mensal diário e diferentes períodos do dia em Santa Maria, RS, no período de 1968 a 2010.....61
- TABELA 6 – Teste de Sequência ou Teste Run ( $Z$ ), Teste Mann-Kendall ( $\tau$ ), o Teste Pettitt ( $K$ ) e suas probabilidades aplicados à série histórica de brilho solar médio sazonal (estações do ano) diário e para diferentes períodos do dia em Santa Maria, RS, no período de 1968 a 2010.....62
- TABELA 7 – Duração dos ciclos de brilho solar, significativos pelo teste qui-quadrados, estimados pela análise de densidade espectral de potências para o “lag” de 15 anos na série histórica de brilho solar de Santa Maria, RS, para os doze meses do ano do período 1968 a 2010.....66
- TABELA 8 – Modelos de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas  $R^2$  (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de janeiro em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....82
- TABELA 9 – Modelos de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas  $R^2$  (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de fevereiro em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....84
- TABELA 10 – Modelos de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas  $R^2$  (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de março em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....85

- TABELA 11 – Modelos de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas  $R^2$  (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de abril em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....86
- TABELA 12 – Modelos de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas  $R^2$  (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de maio em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....87
- TABELA 13 – Modelos de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas  $R^2$  (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de junho em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....88
- TABELA 14 – Modelos de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas  $R^2$  (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de julho em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....89
- TABELA 15 – Modelos de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas  $R^2$  (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de agosto em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....90
- TABELA 16 – Modelos de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas  $R^2$  (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de setembro em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....91
- TABELA 17 – Modelos de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas  $R^2$  (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de outubro em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....92
- TABELA 18 – Modelos de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas  $R^2$  (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de novembro em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....93
- TABELA 19 – Modelos de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas  $R^2$  (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de dezembro em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.....94

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	16
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1 Brilho Solar.....	19
2.2 Séries históricas de variáveis climáticas .....	21
2.2.1 Homogeneidade em séries históricas.....	22
2.2.2 Tendência em séries históricas .....	24
2.2.3 Variabilidade e periodicidade em séries históricas.....	26
2.2.4 Tendência e variabilidade em séries históricas de brilho solar .....	28
2.3 Histórico da Estação Meteorológica de Santa Maria .....	29
2.4 Radiação Solar.....	33
2.5 Estimativa da Radiação Solar a partir do Brilho Solar .....	36
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
5 CONCLUSÕES .....	96
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	97
7 APÊNDICE.....	108

## 1 INTRODUÇÃO

O Sol é a principal fonte de energia na superfície da Terra, responsável pelas atividades e existência da maioria dos seres vivos e pela sua distribuição geográfica no planeta, pela maioria dos fenômenos meteorológicos e pelo aquecimento do ar e da água (OMETTO, 1981). O Sol emite energia na forma de radiação eletromagnética, de cujo espectro, uma parte é interceptada pelo sistema Terra-Atmosfera e convertida em outras formas de energia como, por exemplo, calor e energia cinética da circulação atmosférica (LUTGENS et al., 2004).

No setor rural, a radiação solar é importante, pois afeta a produtividade das culturas agrícolas, pastagens e espécies florestais, e é a fonte de energia para os processos de evaporação do solo e transpiração das plantas (ANGELOCCI, 2002; PEREIRA et al., 1997). É, ainda, uma fonte potencial para gerar energia elétrica e aquecimento de água para uso residencial (PEREIRA et al., 2002) e comercial.

Valores medidos da radiação solar em séries históricas nem sempre são disponíveis porque várias Estações Meteorológicas não possuem os equipamentos de medida ou sua manutenção é muito onerosa. Na tentativa de resolver esses problemas, foram desenvolvidos vários métodos de estimativa da radiação solar a partir de variáveis mais facilmente medidas como o brilho solar.

Há registro de brilho solar em Santa Maria pela Estação Climatológica Principal do 8º Distrito de Meteorologia (DISME) desde 1912. Até 1967, a Estação estava localizada no centro da cidade de Santa Maria e em 1968 foi transferida para o Campus da Universidade Federal de Santa Maria na área experimental do Departamento de Fitotecnia, acerca de 10 Km de distância do centro, onde permanece até o presente. Estefanel et al. (1990) determinaram equações para estimativa diária da densidade de fluxo da radiação solar global incidente na superfície a partir de dados diários de brilho solar na Região de Santa Maria, usando dados da Estação Experimental de Silvicultura pertencente à FEPAGRO, localizada no distrito de Boca do Monte, a aproximadamente 30 km do Campus da Universidade Federal Santa Maria (UFSM), da Estação Experimental Fitotecnia de Júlio de Castilhos, Estação Experimental Forragicultura de São Gabriel e Estação Climatológica Principal (8º DISME) do Departamento de Fitotecnia UFSM. Neste estudo, os autores optaram em não usar dados de radiação solar da Estação do Departamento de Fitotecnia da UFSM, pois a análise da homogeneidade

dos dados de radiação solar indicou dois períodos distintos, o primeiro, desde a instalação do aparelho em agosto de 1975 até dezembro de 1979, onde apresentou médias mensais de densidade de fluxo de radiação solar global maior que da Estação da Boca do Monte e o contrário aconteceu no segundo período que vai de 1980 a 1986.

Com relação à série de brilho solar da Estação de Santa Maria, Buriol et al. (1991) determinaram as estatísticas descritivas desta variável meteorológica considerando o período 1968 a 1986. Agora, em se completando um século de dados de brilho solar da Estação Climatológica Principal do 8º DISME em Santa Maria, é oportuno recalculas as estatísticas descritivas anteriormente calculados por Buriol et al. (1991), bem como calcular as estatísticas descritivas da densidade de fluxo de radiação solar e estudar a série histórica da densidade de fluxo de radiação solar para identificar possíveis tendências e assim atender a demanda crescente de informações sobre alterações em séries climáticas e a possível associação com a Mudança Climática Global, o que constitui uma motivação para este estudo. No mundo cresce o interesse por estudos de tendências de séries históricas, como exemplo, na China. Estudos nesse país usando dados de 200 estações meteorológicas indicaram um decréscimo na série de brilho solar (KAISER; QUIEN, 2002). No Brasil também foi encontrado um decréscimo na série histórica de brilho solar dos Estados de Minas Gerais (MINUZZI et al., 2010) e Rio Grande do Sul (CUSTÓDIO et al., 2009).

Além disso, no estudo de Stefanel et al. (1990), foram estimados os coeficientes da equação de Ångström – Prescott e Penman para estimativa da densidade de fluxo de radiação solar global a partir do brilho solar em nível diário para a Região de Santa Maria com os dados da Estação do distrito da Boca do Monte e os dados da Estação do Departamento de Fitotecnia da UFSM não foram usados no estudo. Naquele estudo foram detectados dias com condições de nebulosidade que ocorreram em diferentes momentos especialmente no início e final do dia, interferindo na estimativa da radiação solar global. Para melhorar a estimativa nestes dias, os autores sugerem que as estimativas dos coeficientes sejam a nível horário. Assim, estendeu-se a análise feita por Stefanel et al., (1990) para a estimativa dos coeficientes da equação de Ångström – Prescott e Penman em nível horário para os dados de brilho solar com registro no período de 2002 a 2010 da Estação Climatológica Principal do Departamento de Fitotecnia da UFSM.

Outro aspecto relevante e que complementa os estudos de Stefanel et al. (1990) e Buriol et al. (1991) é determinar a disponibilidade e a variabilidade do brilho solar e

radiação solar em Santa Maria, em menor escala temporal, como manhã, tarde, início e final da manhã, início e final da tarde, e em nível horário. Tal abordagem fornece informações mais detalhadas sobre a disponibilidade de energia solar e as possíveis causas de sua variabilidade, o que ainda não foi realizado para Santa Maria, constituindo assim mais uma motivação para este estudo.

O aspecto adicional importante neste estudo é entender como alguns fenômenos de grande escala espacial e de baixa e baixíssima frequência temporal como o El Niño Oscilação Sul (ENOS) e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), afetam a variabilidade do brilho solar. Não foram encontrados trabalhos com esta finalidade para a região de abrangência da Estação Climatológica de Santa Maria, RS, mas há relatos de que estes fenômenos explicam parte da variabilidade anual de outros elementos meteorológicos em Santa Maria, como a menor evaporação do tanque Classe A nos anos de El Niño, maior nos anos de La Niña e intermediária nos anos Neutros, enquanto que a umidade relativa do ar é maior em anos de El Niño e menor nos anos de La Niña (STRECK et al. 2008), o que constituiu a terceira motivação para este estudo.

## **1.1 Objetivos**

1.1.1) Testar a homogeneidade dos dados mensais e sazonais de brilho solar do período de 1912 a 2010 e horários de brilho solar do período de 1968 a 2010.

1.1.2) Recalcular as estatísticas descritivas do brilho solar mensal e diário em Santa Maria, RS.

1.1.3) Caracterizar a tendência secular e a variabilidade interanual e interdecadal do brilho solar médio diário mensal e horário.

1.1.4) Ajustar e testar a equação de Ångström - Prescott e Penman para estimativa da densidade de fluxo de radiação solar global incidente em nível horário para Santa Maria, RS.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Brilho Solar

O brilho solar é o intervalo de tempo entre o nascer e o pôr do sol, ou o número de horas, nas quais, durante um dia, o sol é visível e que não esteja oculto por nuvens ou fenômenos atmosféricos de qualquer natureza (MOTA, 1975; VAREJÃO – SILVA, 2006).

O brilho solar é uma variável meteorológica importante para as mais diversas atividades da sociedade, como turismo, lazer, trabalhos realizados ao ar livre, planejamento urbanístico e a saúde. É um elemento de importância para a vida animal, assim como o elemento fundamental para o desenvolvimento e crescimento vegetal (MOTA, 1975; VAREJÃO – SILVA, 2006).

O brilho solar é comumente também denominado na literatura de insolação. Para alguns pesquisadores, insolação é considerado um termo inapropriado e mal traduzido, pois se originou do termo em inglês “INSOLATION” que é abreviatura de INcoming SOLAR radiaTION, cuja tradução mais apropriada para o português é densidade de fluxo de radiação solar global incidente. Portanto, optou-se por usar o termo brilho solar (do inglês *sunshine hours*) neste trabalho.

O registro do brilho solar é realizado nas Estações Meteorológicas Convencionais com o heliógrafo, um aparelho simples, barato e que necessita pouca manutenção. O heliógrafo de Campbell – Stokes é o instrumento mais utilizado para registrar o brilho solar e consiste numa esfera de vidro de 10 cm de diâmetro, montada concentricamente numa secção de uma concha metálica, de tal modo que os raios solares são concentrados sobre um cartão que também é chamado de tira ou fita heliográfica (VAREJÃO – SILVA, 2006). Uma vista geral do heliógrafo instalado na Estação Climatológica Principal (ECP) no Departamento de Fitotecnia do Campus da Universidade Federal de Santa Maria e das fitas heliográficas é apresentada na Figura 1.

As fitas heliográficas são colocadas em diferentes posições na concha de acordo com as estações do ano e variação anual do fotoperíodo. Há fitas curvas curtas que são usadas de meados de Abril a fim de Agosto, fitas curvas longas que são usadas de meados de Outubro a fim de Fevereiro e as fitas retas que são usadas nos demais dias do ano (Figura 1B). A concentração dos raios solares sobre a fita provoca queimaduras

contínuas ou interrompidas, dependendo se não há nebulosidade entre o equipamento e o sol ou presença de nuvens, respectivamente. Assim o registro de brilho solar é medido em horas e décimos de hora (VAREJÃO – SILVA, 2006). Para se determinar as horas diárias de brilho solar, computa-se o tempo somando-se os segmentos queimados. O heliograma usado é substituído diariamente por um novo à noite (VAREJÃO – SILVA, 2006).

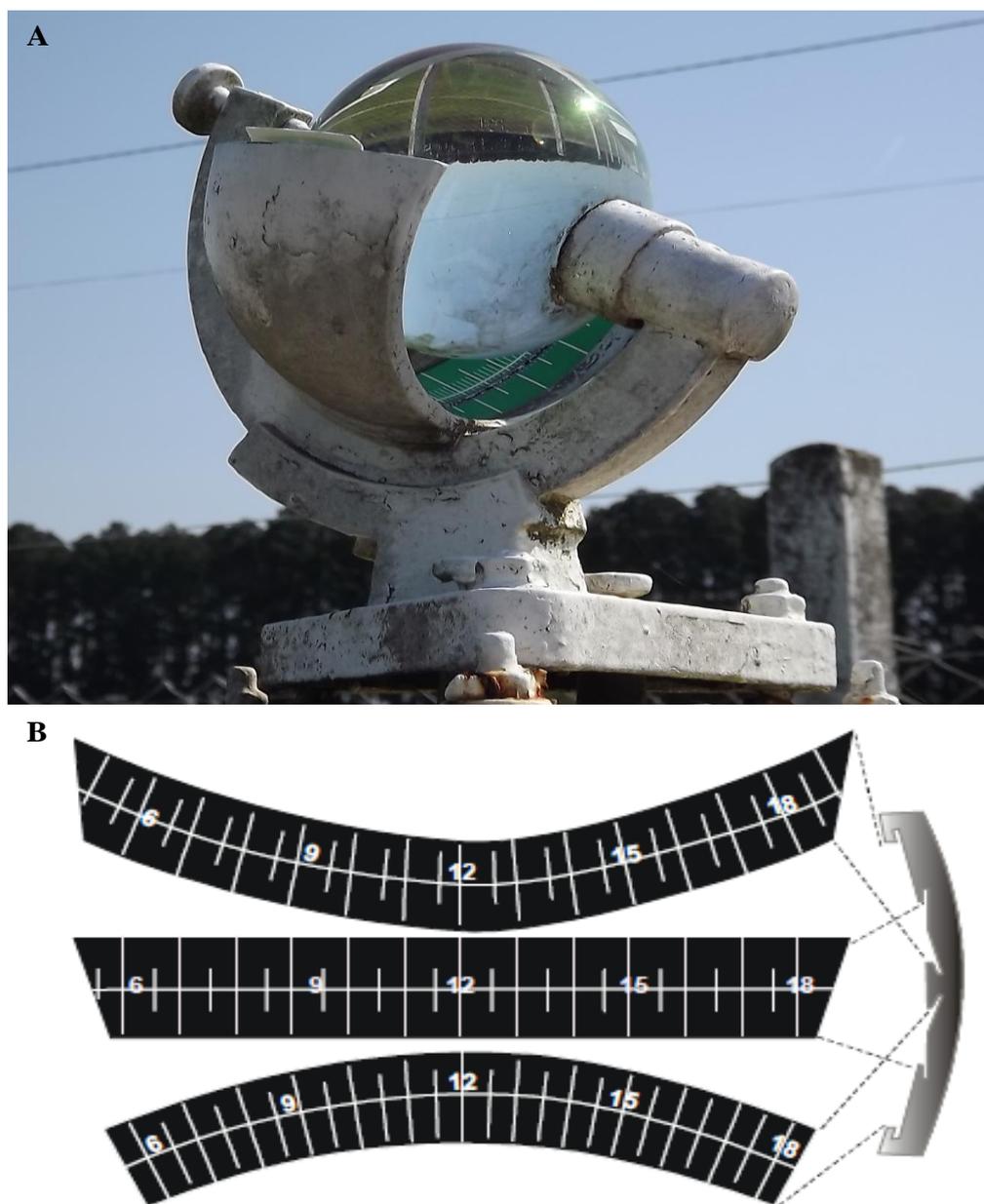


Figura 1 – (A) Heliógrafo Campbell-Stokes instalado na Estação Climatológica Principal da UFSM. Fonte: a autora e (B) Heliogramas ou Fitas Heliográficas. Fonte: VAREJÃO – SILVA (2006).

## 2.2 Séries históricas de variáveis climáticas

Uma série histórica de dados é qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo. Exemplos de séries são os registros de temperatura do ar, precipitação pluviométrica, radiação solar, brilho solar, entre outros elementos meteorológicos (MORETTIN; TOLOI, 2004).

Séries históricas de variáveis ou elementos climáticos são patrimônios importantes, pois permitem que se conheça o clima e características das séries como variabilidade, oscilações e tendência. A variabilidade é decorrente de mudanças na interação do sistema oceano-atmosfera que influenciam determinadas variáveis em diferentes regiões do globo terrestre (CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009). A oscilação é a flutuação na qual a variável tende a mover-se gradualmente e de forma suave entre sucessivos máximos e mínimos. A tendência é uma mudança caracterizada por um suave acréscimo ou decréscimo nos valores médios dos dados no período de registro das variáveis ou elementos (BACK, 2001).

Atualmente, com o aumento do debate a respeito do tema Mudança Climática cresce o interesse de analisar séries históricas de variáveis meteorológicas. Estudos visando quantificar possíveis alterações nos elementos climáticos ou na sua variabilidade temporal vêm sendo realizados em diferentes locais do Planeta. Os resultados desses estudos foram reunidos no quarto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança climática, publicados em 2007 (IPCC, 2007). Apesar de algumas divergências no meio científico sobre as causas (McINTYRE; McKITRICK, 2003, 2005a, 2005b; Von STORCH et al., 2004; MOLION, 2008), fica evidente neste último relatório do IPCC que a temperatura global está em ascensão, tanto em nível continental como nos oceanos, e que a área coberta com geleiras no Planeta está em declínio (IPCC, 2007). Para tanto, antes dos estudos de tendência e de variabilidade climática, as séries históricas devem ser estudadas quanto a sua qualidade e para tanto devem ser testadas quanto a sua homogeneidade, para reduzir o risco de ter-se o efeito do inadequado funcionamento de equipamentos ou do efeito da má conservação das condições de contorno das estações meteorológicas.

### 2.2.1 Homogeneidade em séries históricas

Um dos interesses em climatologia é a análise de dados históricos das variáveis meteorológicas, com vistas a compreender a dinâmica do clima, no que se refere a detectar possíveis variações, mudanças ou tendências ao longo do tempo e os fatores ou forçantes que desencadeiam ou controlam essa dinâmica. Porém, as séries históricas de elementos climáticos ao longo do tempo podem ser afetadas por fatores que não estão relacionadas com a física e a dinâmica da atmosfera. Exemplo disso é a mudança do local da estação, troca do instrumento, mudança no método para calcular médias, dados inconsistentes, que podem ser resultado de uma falha humana ou mecânica, (por exemplo, o observador registrou e ou leu errado o dado ou o aparelho de registro pode estar com algum problema) ou ainda pode ter havido, ao longo do tempo, problemas nas condições de contorno da estação meteorológica, como crescimento de árvores ao redor da estação, que causam sombreamento aos equipamentos e alterações na nebulosidade e direção do vento (BURIOL et al., 2006; SALVADOR et al., 2006).

Assim, a primeira etapa crucial para análise de uma série histórica é o tratamento dos dados no que diz respeito à homogeneidade dos dados da série. Por isso, nos estudos em que se usam dados de séries longas de observações é necessário que antes estas sejam submetidas a uma análise de homogeneidade. É importante, portanto, remover a heterogeneidade ou ao menos determinar o erro possível que possa estar causando a descontinuidade da série (PETERSON et al., 1998). Para se detectar a homogeneidade de séries históricas pode se usar duas metodologias: a metodologia direta e a metodologia indireta (PETERSON et al., 1998).

Na metodologia direta é necessário fazer um levantamento do histórico da estação meteorológica. Coletam-se informações, tais como, mudança da estação de um local para o outro, mudanças e manutenção de aparelhos, os novos métodos e equações utilizadas para calcular a média, as mudanças no ambiente das proximidades da estação, tais como os edifícios e vegetação, novos observadores, entre outros, pois todas as informações podem conter pistas sobre fatos que podem afetar a homogeneidade. Essas informações são encontradas nos registros da estação, anuários meteorológicos, fichas originais de observação e relatórios técnicos de inspeção da estação (PETERSON et al., 1998).

A metodologia indireta consiste em usar os diferentes testes estatísticos para determinar a homogeneidade, a maioria são testes não paramétricos. Em alguns casos,

quando se tem segurança de que as estações meteorológicas têm alta qualidade nos dados, pode não ser necessário testar a heterogeneidade e sim apenas confirmar essa qualidade, através de visualização gráfica (PETERSON et al., 1998).

A metodologia indireta de acordo com Peterson et al. (1998), pode ser dividida em métodos subjetivos e objetivos. Os métodos subjetivos constituem as análises dos dados de uma determinada estação meteorológica correlacionados com dados de outra estação no mesmo período. Como exemplo desse método tem-se o método da Análise das Duplas Massas, que consiste em plotar num sistema de coordenadas x, y os valores acumulados da série histórica do local de estudo em um eixo e no outro eixo a série de dados de um posto de observação vizinho (OMETTO, 1981). Outro método, mais simples, consiste em plotar um gráfico com os anos no eixo das abscissas e a soma das médias da variável meteorológica no eixo das ordenadas, sendo a série considerada homogênea, quando os dados neste gráfico se ajustam a uma única reta. Este método é mais simples que o método da Análise das Duplas Massas, e tem a vantagem de que não é necessário dados de outras estações meteorológicas no mesmo período, os quais nem sempre são disponíveis (ESTEFANEL et al., 1990; BURIOL et al., 1991).

Já métodos objetivos são métodos que usam testes estatísticos que, além de serem usados para a análise da homogeneidade das séries históricas, são usados para detectar a descontinuidade da série histórica e auxiliar num estudo posterior caso encontre-se a não-homogeneidade (PETERSON et al., 1998; SALVADOR et al., 2006). O teste de homogeneidade normal padrão (THNP) é outro exemplo de teste usado para detectar homogeneidade das séries e identifica o ponto de descontinuidade das séries e testa o desvio na média, tendo como hipótese nula que a variável mensal a ser testada é independente e identicamente distribuída (ALEXANDERSSON, 1986; SYRAKOVA STEFANOVA, 2009; MINUZZI et al., 2010). No entanto o teste mais usado e recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) na Nota Técnica nº 81 é o teste não-paramétrico denominado de teste de seqüência ou também chamado de Run Test (BACK, 2001; MINUZZI et al., 2010). O Run Test é assim denominado pelo fato do número de oscilações ser chamado de run. Esse teste consiste na contagem do número de oscilações dos valores acima e abaixo da mediana, numa série de dados naturalmente ordenada. Os valores observados devem ser testados para verificar se estão dentro da faixa considerada normal, por isso a hipótese nula consta que a distribuição das seqüências ocorre normalmente, assim, a amostra ocorre aleatoriamente (BACK, 2001).

No estado do Rio Grande do Sul, Berlato (1971) analisou dados de radiação solar global registrados em várias estações agrometeorológicas e encontrou falta de homogeneidade nos dados, pois a razão de brilho solar foi menor para Júlio de Castilhos do que para Santa Maria, e a radiação solar global é mais elevada em Júlio de Castilhos. Da mesma forma, Estefanel et al. (1990) estudou a variação da radiação solar global registrada nas estações agrometeorológicas de Santa Maria, São Gabriel e Júlio de Castilhos, sendo que tiveram que eliminar vários anos de observação em função da constatação da falta de consistência nos dados, principalmente na estação de Júlio de Castilhos. Em outro trabalho com séries de dados das médias mensais de radiação solar global das estações agrometeorológicas da FEPAGRO/SCT, foi encontrada homogeneidade na maioria das séries de dados (BURIOL et al., 2006). A série histórica de temperatura mínima de relva em Santa Maria foi considerada homogênea (STRECK et al., 2011).

### 2.2.2 Tendência em séries históricas

Uma das características que se tem interesse em estudos climatológicos é a detecção ou não de tendência em uma série temporal. Uma série possui tendência quando o sentido de deslocamento das observações ao longo dos anos apresenta um acréscimo ou decréscimo (MORETTIN; TOLOI, 2004). Nos últimos anos cresceu o interesse em estudos de tendências de elementos meteorológicos para associar a estudos de mudança climática.

Durante o século XX, a temperatura média da superfície global teve um aumento de  $0,6 (\pm 0,2) ^\circ\text{C}$ , e o maior aumento ocorreu entre 1967 e 2000, sendo que a década de 90 foi a mais quente do último milênio (KERR, 2005; IPCC, 2007). A elevação na temperatura no último século, ainda pelo quarto relatório do IPCC, se estende à América do Sul e ao Brasil. Uma característica do aumento de temperatura observado nos últimos anos em alguns locais é que o aumento na temperatura mínima e máxima é assimétrico, com maiores aumentos na temperatura mínima do que na máxima. Por exemplo, nas Filipinas, Peng et al. (2004) analisando os dados de temperatura do ar do período de 1979 a 2003, observaram que o aumento da temperatura máxima média anual foi de  $0,35^\circ\text{C}$ , enquanto que o aumento da mínima média anual foi de  $1,13^\circ\text{C}$ , sendo que o incremento na temperatura mínima do ar foi de  $1,33^\circ\text{C}$  na estação seca e de  $0,80^\circ\text{C}$  na estação chuvosa. Tao et al. (2006) observaram que no período de 1981 a

2000 as temperaturas mínimas aumentaram mais que as máximas em vários locais da China, sendo que a temperatura mínima teve aumentos maiores no norte e menores no sul.

O Rio Grande do Sul foi o único Estado a ter tendência significativa nas séries históricas de temperatura máxima e média no período de 1950 a 2005 em um estudo realizado por Silveira e Gan (2006). Na região de Pelotas Steinmetz et al. (2005) encontraram um aumento da temperatura mínima média anual de  $1,01^{\circ}\text{C}$ , no período de 1893 a 2004, e de  $1,66^{\circ}\text{C}$  no período de 1955 a 2004. Ainda, no Rio Grande do Sul, no período de 1948 a 2004, a tendência de aumento da temperatura mínima média anual, no período de outubro a dezembro, mostrou valores crescentes no sentido leste-oeste do Estado, variando de  $0,8^{\circ}\text{C}$  a  $1,8^{\circ}\text{C}$  (MARQUES et al., 2005).

A visualização gráfica na análise de tendência de séries históricas é uma ferramenta importante, por permitir identificar variabilidade, observações atípicas, sazonalidade e tendência, dentre outras. Mas, como os procedimentos visuais podem variar de pessoa para pessoa, por isso a importância de se testar estatisticamente a presença de tendência. Existem alguns testes, porém dois deles são os mais usados e recomendados para detectar tendência em séries históricas o teste Mann-Kendall e o teste de Pettitt.

O teste de Mann-Kendall foi proposto inicialmente por Sneyers em 1975 considera que, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (BACK, 2001). O teste de Mann-Kendall é o método mais apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas e permite também a detecção e localização aproximada do ponto inicial de determinada tendência (SIEGEL, 1975; BACK, 2001). Este teste não paramétrico é sugerido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para avaliação da tendência em séries temporais de dados meteorológicos (YUE et al., 2002; SILVA et al., 2010). O teste de Pettitt é um teste não paramétrico que utiliza uma versão do teste de Mann-Whitney, no qual é testado se as amostras são da mesma população. Esta estatística localiza o ponto de mudança ou ruptura brusca na série temporal (BACK, 2001).

Exemplos de trabalhos de identificação de tendências em séries históricas são como o de Marengo e Camargo (2008) que constataram redução na amplitude térmica diária nos meses de verão no RS devido a um maior aumento na temperatura mínima do que na temperatura máxima, no período de 1960-2002. Similarmente, mas analisando

uma série histórica mais longa (1913-2006), Sansigolo e Kayano (2010) relataram aumento de  $1,7^{\circ}\text{C}/100$  anos na média anual de temperatura mínima no RS e não houve tendência na média da temperatura máxima anual. Em Santa Maria, RS, Streck et al. (2011) analisaram a série histórica de temperatura do período de 1912 a 2010, relatam diminuição na amplitude térmica diária, principalmente devido ao aumento na temperatura mínima diária. E segundo Back (2001), o teste de Pettitt indicou uma mudança brusca com tendência crescente na série de dados de precipitação total anual no período de 1924 a 1998 em Urussanga no Estado de Santa Catarina.

### 2.2.3 Variabilidade e periodicidade em séries históricas

Outras características por vezes de interesse de se analisar em séries temporais são a variabilidade e a periodicidade de oscilações que compõe a variabilidade. Estas características são importantes para entender o passado da serie histórica e também pode auxiliar na previsão ou projeção da variação futura.

A variabilidade e as oscilações em séries históricas de elementos climáticos estão relacionadas à variabilidade na circulação atmosférica, que pode ser observada nos padrões de sistemas sinóticos e de circulação que ocorrem em diversas escalas de tempo (ESCOBAR, 2007; CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009). Os sistemas sinóticos têm alta frequência de oscilação em relação à periodicidade, com duração de cinco dias aproximadamente. São exemplos de oscilações de altas frequências em séries climatológicas aquelas ligadas a tempestades e passagens frontais. A intensidade e a duração dos sistemas sinóticos são moduladas pelas condições oceânicas (DIAS; MARENGO, 2002; CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009).

A variabilidade com oscilação de baixa frequência dos movimentos atmosféricos de grande escala é bastante importante para a meteorologia. Baixa frequência é definida como oscilações com períodos maiores que 10 dias (FERRAZ, 2004). As oscilações intrasazonais situam-se no intervalo de 10 a 100 dias (FERRAZ, 2004; PAMPUCH, 2010; CERA, 2011). E a Oscilação de Madden e Julian (OMJ) é uma oscilação intrasazonal de 40 a 50 dias e que afeta a precipitação na região Sul do Brasil, inclusive o Estado do Rio Grande do Sul (FERRAZ, 2004).

O Modo Sul é um modo de variabilidade intrasazonal que apresenta alternância de condições secas e úmidas sobre a América do Sul tropical e subtropical, ou seja,

eventos de seca no Sudeste do Brasil estão relacionados a eventos de chuva no Sul e vice-versa (PAEGLE et al., 1997; FERRAZ, 2004).

A principal variabilidade climática interanual é o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). Esta oscilação de baixíssima frequência se dá pelo acoplamento de dois componentes, um atmosférico e outro oceânico, que produzem alterações na temperatura da superfície do mar e na pressão, principalmente na região Equatorial do Oceano Pacífico e que afeta o tempo e o clima em diversos locais do Globo Terrestre (CANE, 2001). O componente oceânico é caracterizado por anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM), no Pacífico Equatorial junto à costa Oeste da América do Sul. O componente atmosférico é caracterizado por anomalias de pressão atmosférica na região de Darwin, norte da Austrália (12,4°S; 130,9°E) e do Taiti, na Polinésia Francesa (17,5°S; 149,6°W). A fase quente do ENOS é chamada de El Niño e a fase fria é de La Niña. O El Niño se caracteriza por um aquecimento acima da normal das águas do Oceano Pacífico Equatorial próximo à costa Peruana, enquanto a La Niña se caracteriza pelo fato da água nesta região do Oceano Pacífico apresentar temperatura abaixo da normal climatológica. As fases quentes e frias do ENOS são fenômenos cíclicos de duração variável e de ocorrência aperiódica (PHILANDER, 1990; GLANTZ, 2001). No Estado do Rio Grande do Sul, vários trabalhos foram realizados mostrando que a variabilidade interanual de alguns elementos meteorológicos está associada com fenômenos de grande escala como o fenômeno ENOS (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987; GRIMM et al., 1996, GRIMM et al., 1998; GRIMM et al., 2002; BERLATO; FONTANA, 2003).

Existem também modos de variabilidade climática de baixíssima frequência, com escala de decadal a multidecadal, que ocorrem nos oceanos Pacíficos e Atlântico (KAYANO; ANDREOLI, 2009). O modo de variabilidade decadal mais conhecido e estudado nas duas últimas décadas é a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) (MANTUA et al., 1997; MINOBE, 2000; LIU et al., 2002). Na ODP, as temperaturas da superfície do Oceano Pacífico apresentam uma configuração semelhante ao fenômeno ENOS, porém com variações temporais mais longas (MANTUA et al., 1997). A duração da ODP pode variar de 20 a 30 anos sendo chamada de Oscilação Bidecadal, ou variar de 50 a 70 anos quando é denominada de Pentadecadal (LIU et al., 2002; MINOBE, 2000). Semelhante a Oscilação Sul, a ODP também apresenta duas fases, uma quente e outra fria. Na fase fria ocorrem anomalias negativas de temperaturas da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico Tropical (OPT) e positivas no Oceano

Pacífico Extratropical (OPE) nos dois hemisférios, enquanto na fase quente as alterações da TSM são opostas, ou seja, anomalias positivas no OPT e negativas nas duas regiões do OPE (MANTUA et al., 1997). Durante o século 20 foi identificadas uma fase fria (1947 – 1976), que separou duas fases quentes (1925 – 1946 e 1977 – 1998) da ODP (MANTUA; HARE, 2002). O período anterior a 1925 não está bem definido quanto a ODP (MANTUA; HARE, 2002) e o período após 1998 indica uma nova fase fria (JISAO, 2011).

A ODP é responsável pela variabilidade interdecadal de alguns elementos meteorológicos em diferentes locais do Globo (MANTUA; HARE, 2002; GARCIA; KAYANO, 2008; BLAIN et al., 2009, STRECK et al., 2009). A ODP apresenta padrões de precipitação sobre a América do Sul assim como o ENOS, afetando também a precipitação no Rio Grande do Sul (CERA et al., 2009). Chen et al. (2006) relataram a influência da ODP nas oscilações de crescimento de pinheiros na periferia da cidade de Shenyang, na Província de Liaoning, China. Na Califórnia, EUA, no período de 1950-2000, em 83% das estações meteorológicas houve correlação significativa entre a temperatura mínima média do ar e a ODP (LADOCHY et al., 2007).

A identificação da periodicidade em uma série histórica, ou seja, a identificação de ciclos ou oscilações e suas frequências pode se usar a função de densidade espectral de potências. A densidade espectral de potência descreve como o poder (ou variância) de uma série temporal é distribuído com a frequência. Na prática permite ver separadamente as contribuições de processos variando em diferentes velocidades, o que é equivalente a processos operando em um espectro de diferentes frequências (WILKS, 1995). Uma das maneiras de se calcular a densidade espectral de potências é através do Teorema de Wiener Khinchin (GOERGEN, 2008).

#### 2.2.4 Tendência e variabilidade em séries históricas de brilho solar

Existem alguns estudos sobre a tendência das séries de brilho solar e radiação solar. Na China há um decréscimo nas séries de brilho solar em 200 estações meteorológicas no período de 1954 a 1998 e a esse decréscimo os pesquisadores atribuem ao aumento de emissão de aerossóis na atmosfera nas últimas décadas (KAISER; QIAN, 2002). Considerando série de brilho solar média anual no período de 1965 a 1999, YANG et al. (2009) encontraram um decréscimo na série em torno de 0,2 horas dia<sup>-1</sup> década<sup>-1</sup>.

Ainda na China, estudos de tendências com séries longas de radiação solar foram associados a fatores climáticos e localização geográfica. Tendências decrescentes na radiação solar global incidente foram observadas sobre grande parte da China e os maiores decréscimo ocorrem no Sul e Leste da China. Neste mesmo trabalho também encontraram padrões espaciais e temporais das tendências de brilho solar e a de radiação solar direta (LIAN; XIA, 2005).

No Japão também foram encontrados decréscimos na série de brilho solar e radiação solar no período de 1890 a 2002 (STANHILL; COHEN, 2008), demonstrando que essa tendência se manifesta de forma abrangente no sudeste asiático.

No Estado do Rio Grande do Sul a análise sobre a tendência climática do elemento brilho solar foi realizada usando o índice de nebulosidade diurna anual (IND), este índice é estimado através da insolação relativa  $(1 - n/N)$  onde  $n$  é o brilho solar e  $N$  é o brilho solar máximo, foi feita a nível mensal e para as estações do ano, sendo que foi observado uma tendência de aumento na nebulosidade (CUSTÓDIO et al., 2009).

### 2.3 Histórico da Estação Meteorológica de Santa Maria

Em 1912 foi instalado no centro de Santa Maria na praça Saldanha Marinho, um observatório meteorológico do Instituto Coussirat Araujo, onde permaneceu até a década de 30, rodeado de árvores e ornamentações que compunham a praça (Figura 2). A partir daí o observatório foi trocado de local e instalado e monitorado em um quintal residencial, no centro da cidade, que também passou ser contornado por árvores e edificações, devido ao progresso da época, onde permaneceu até a década de 60.



Figura 2 – Observatório do Instituto Coussirat Araujo, Praça Saldanha Marinho, 1927. Fonte: Ação Documental do Acervo Museológico da Casa de Memória Edmundo Cardoso (Prefeitura Municipal de Santa Maria).

No ano de 1968 o observatório, agora estação meteorológica e pertencente ao Oitavo Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia, foi trocado de local novamente e instalado na área experimental do Departamento de Fitotecnia, no Campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) (Figuras 3, 4 e 5). Essa última mudança de local da estação e onde permanece até o presente, foi necessária para seguir algumas normas determinadas pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) quanto à localização e a instalação das estações meteorológicas, cujo local deve ser representativo da região de abrangência da Estação Meteorológica, evitando-se condições extremas de relevo. A área deve ser bem exposta, tendo longos horizontes, especialmente no sentido Leste-Oeste, evitar proximidade de maciços florestais, árvores isoladas e construções, que possam projetar sombra na área da estação ou interferir nas condições atmosféricas locais e a área deve ser plana e de fácil acesso (PEREIRA et al., 2002).

Ao longo dos 42 anos da Estação Meteorológica na UFSM notou-se que na última década a alameda de Pinus (*Pinus sp.*) situada aproximadamente a 180 metros a Oeste da Estação (Figuras 5 e 6), vem influenciando com o sombreamento das árvores no registro de alguns elementos meteorológicos, principalmente do brilho solar nos momentos próximos ao pôr do sol.

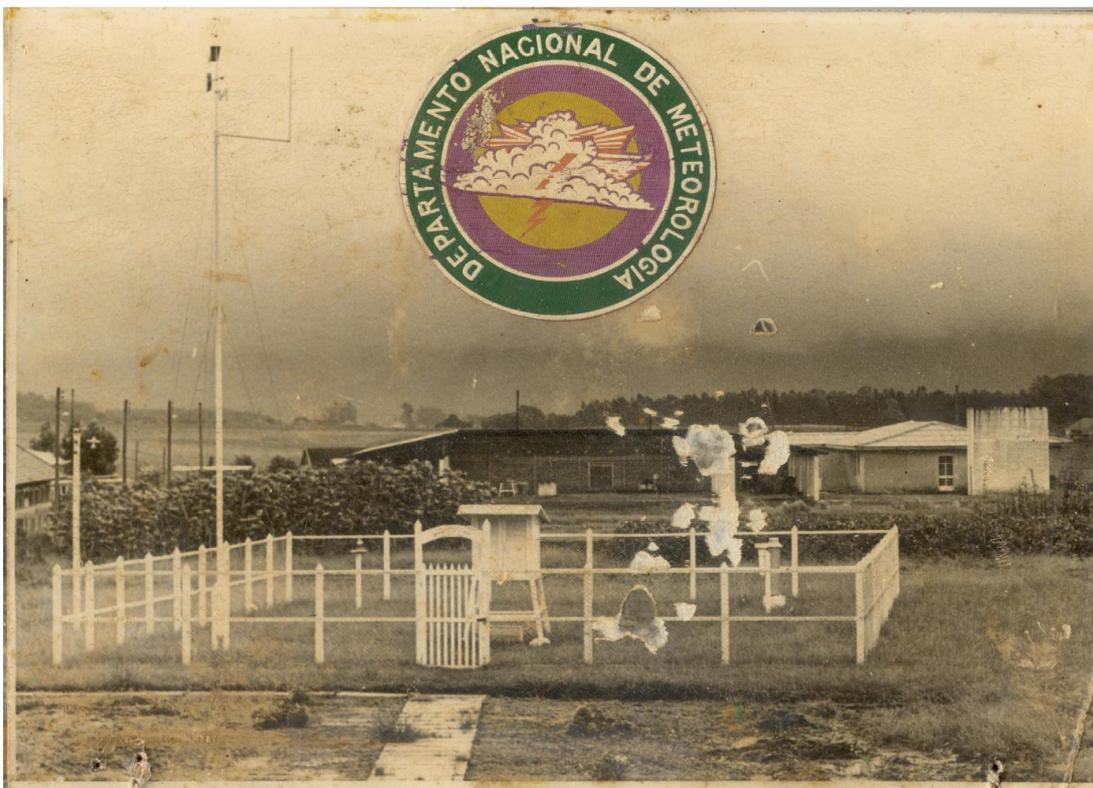


Figura 3 – Estação Climatológica do Departamento Nacional de Meteorologia instalada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria no ano de 1967. Fonte: Estação Climatológica Principal Santa Maria, RS.



Figura 4 – Estação Climatológica Principal e ao fundo a Estação Automática do 8º Distrito do Instituto Nacional de Meteorologia no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria no ano de 2011. Fonte: a autora

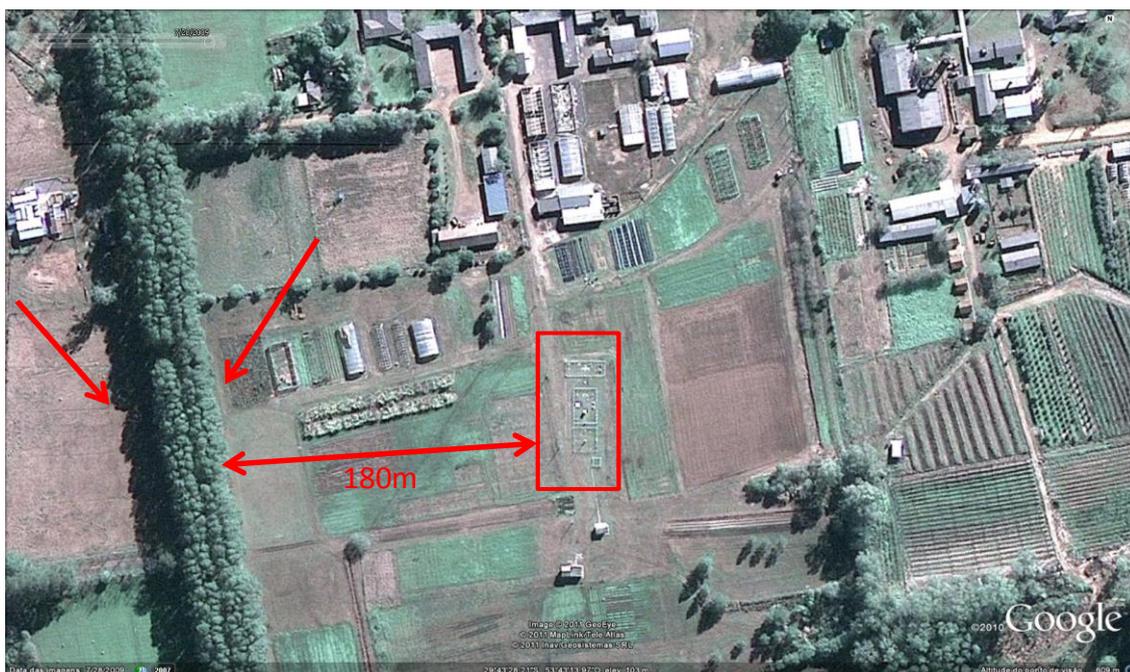


Figura 5 – Imagem de satélite da localização da Estação Climatológica Principal do 8º Distrito do Instituto Nacional de Meteorologia no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (área confinada pelo retângulo) e a alameda de Pinus (indicada pelas setas). Fonte: Google Earth, 2011.

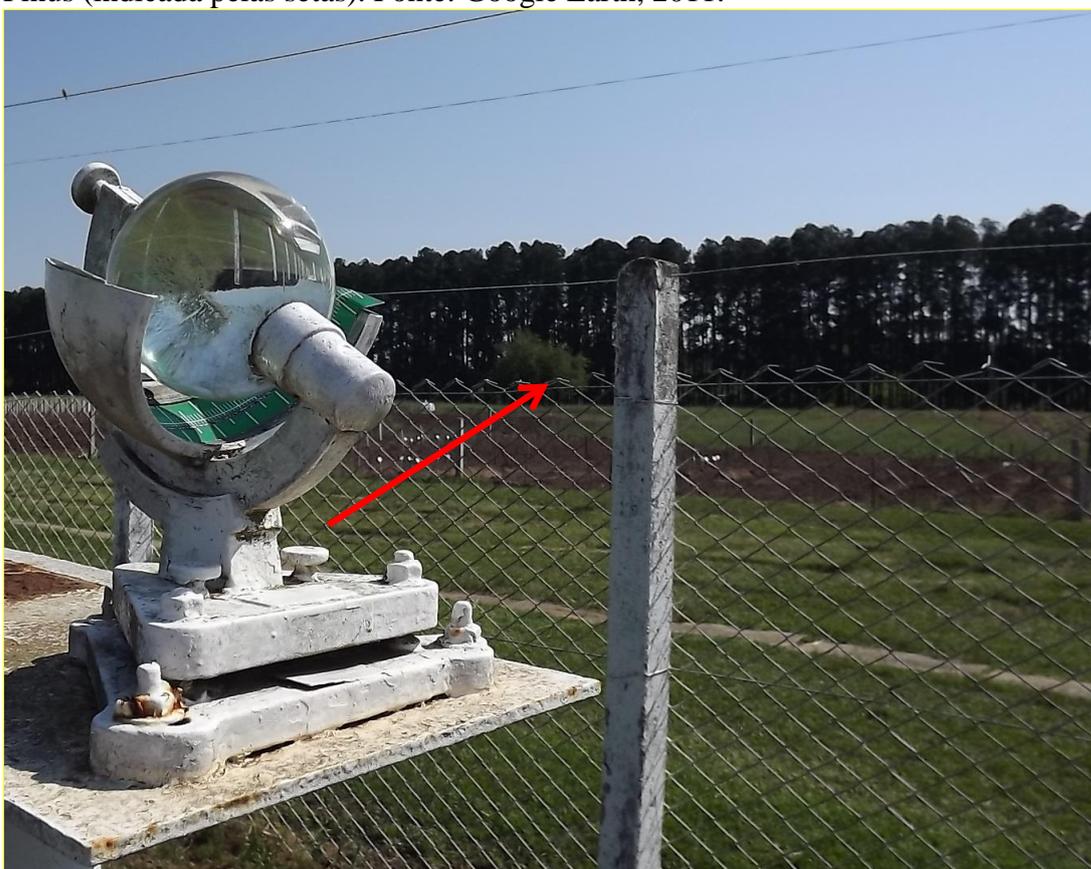


Figura 6 – Heliógrafo da Estação Climatológica Principal do 8º Distrito do Instituto Nacional de Meteorologia no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria e ao fundo a alameda de Pinus no lado Oeste da Estação a aproximadamente 180 m. Fonte: a autora.

## 2.4 Radiação Solar

A radiação ou energia radiante é um dos três processos de transferência de energia, a qual se propaga por ondas eletromagnéticas e assim se desloca seguindo um curso ondulatório sem a necessidade de um meio material conhecido (MOTTA, 1975; VAREJÃO – SILVA, 2006). O aspecto ondulatório da radiação se caracteriza pelo comprimento de onda ( $\lambda$ ) e pela frequência de oscilação ( $\nu$ ). O comprimento de onda é definido como a distância que separa duas cristas ou duas depressões consecutivas na onda, que normalmente é expresso em centímetros ou em micras. A frequência é definida pelo número de cristas que passa por um ponto de referência, na unidade de tempo, e é expressa em ciclos por segundo, ou Hertz (Hz). O produto do comprimento de onda ( $\lambda$ ) pela frequência ( $\nu$ ) da radiação é igual à velocidade de propagação da luz no vácuo ( $c$ ), e assim o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência e é matematicamente representada pela expressão  $c = \nu \lambda$  (MOTTA, 1975; VAREJÃO – SILVA, 2006).

Todo corpo com temperatura acima do zero absoluto emite energia na forma de radiação em um conjunto de comprimento de onda denominado de espectro eletromagnético (Figura 7). Os comprimentos de onda conhecidos variam desde  $10^{-10}$  cm (raios gama) até cerca de  $10^7$  cm (ondas longas de rádio). A radiação solar é composta por um conjunto de comprimentos de onda ( $\lambda$ ) deste espectro que forma o espectro eletromagnético de radiação solar (Figura 7). A maior parte do espectro solar se situa na faixa de comprimento de onda de 0,2  $\mu\text{m}$  a 4,0  $\mu\text{m}$ , denominado de espectro de ondas curtas. Os comprimentos de ondas na faixa 4,0  $\mu\text{m}$  a 100 $\mu\text{m}$  é denominado de ondas longas. No espectro solar, apenas as radiações de comprimentos de onda compreendidos aproximadamente entre 0,36 e 0,74  $\mu\text{m}$  podem ser detectadas pelo olho humano, constituindo a faixa visível do espectro eletromagnético ou luz visível (Figura 7). A faixa visível do espectro solar é a energia usada pelas plantas e algas no processo da fotossíntese, sendo por isso também denominada de Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA). A radiação com comprimento de onda superior a 0,74  $\mu\text{m}$ , por apresentar frequência menor que a da luz vermelha, é dita Radiação infravermelha. Por outro lado, a radiação de comprimento de onda inferior a 0,36  $\mu\text{m}$  (frequência superior à da luz violeta) denomina-se Radiação ultravioleta. Assim, o espectro eletromagnético solar, pode ser subdividido em três faixas ou bandas: ultravioleta, visível e infravermelha (Figura 7) (MOTTA, 1975; VAREJÃO – SILVA, 2006).

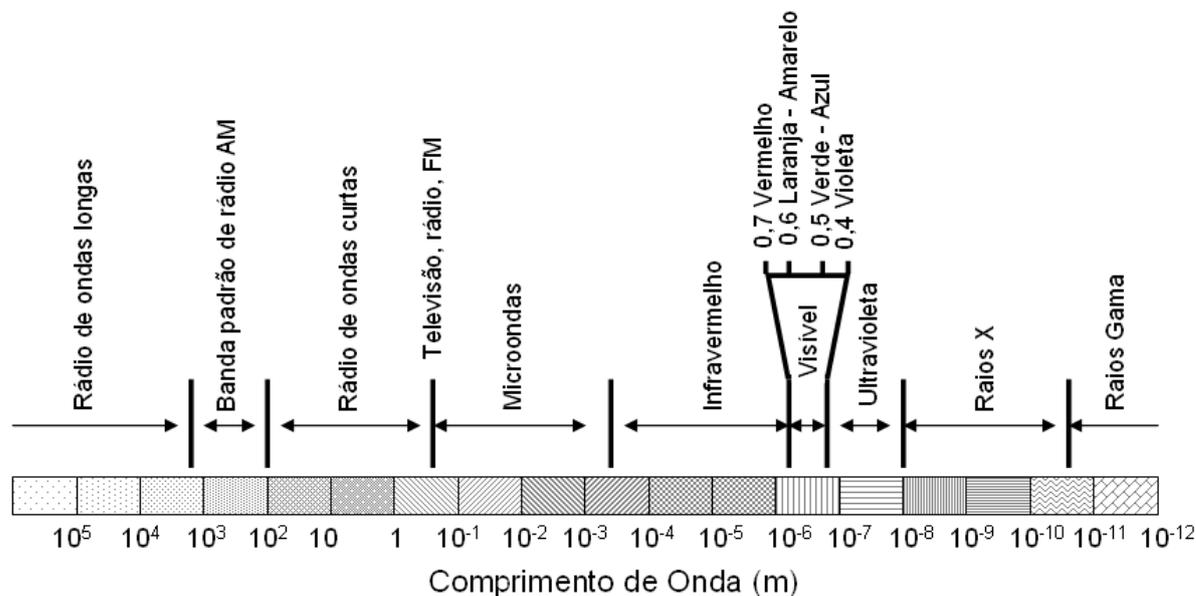


Figura 7 – Espectro eletromagnético. Fonte: LUTGENS et al. (2004).

Os seres vivos, especialmente as plantas, são diretamente influenciados pela energia solar. A radiação solar é a principal matéria-prima para os processos biológicos, morfológicos e bioquímicos de muitas plantas e o efeito que a radiação exerce sobre as plantas varia conforme o comprimento de onda (MOTTA, 1975). Segundo Chang (1968), citado por Varejão – Silva (2006), os efeitos das radiações com diferente comprimento de onda sobre as plantas são:

- até 0,28  $\mu\text{m}$ , provocam rapidamente a morte das plantas (ultravioleta);
- de 0,28 a 0,40  $\mu\text{m}$ , são bastante nocivas até 0,32  $\mu\text{m}$  e acima desse limite provocam inibição do crescimento (ultravioleta e violeta);
- de 0,40 a 0,51  $\mu\text{m}$ , têm acentuada absorção pela clorofila e xantofila;
- de 0,51 a 0,61  $\mu\text{m}$ , abrangendo praticamente as cores verde e amarela, exercem pouca influência no processo fotossintético;
- de 0,61 a 0,72  $\mu\text{m}$ , coincidem aproximadamente com as cores laranja e vermelha e possuem acentuada ação fotossintética;
- de 0,72 a 1,0  $\mu\text{m}$ , interferem na elongação, floração, coloração dos frutos e germinação das sementes.

A radiação solar incidente sobre uma superfície horizontal é denominada radiação solar global, e ao atravessar a atmosfera sofre absorção e difusão (OMETTO, 1981). Porém, esses fenômenos não retêm todos os espectros da radiação e por isso grande parte da

radiação solar global atravessa a atmosfera sem interagir com a mesma, alcançando diretamente a superfície do solo (OMETTO, 1981). Assim, a fração da radiação solar global incidente na superfície terrestre que provém diretamente do sol sem interagir com a atmosfera terrestre é denominada de radiação solar direta. A fração da radiação solar global incidente que chega à superfície após interagir com a atmosfera, onde sofre espalhamento por difusão seletiva e não seletiva é denominada de radiação solar difusa (ECHER et al., 2001). Para um mesmo local e época do ano, em dias límpidos predomina a fração direta e em dias encobertos predomina a fração difusa da radiação solar (BURIOL et al., 1995).

A medida da radiação solar é feita com equipamentos como o Pireliômetro, que são instrumentos destinados a medir a irradiância solar direta, o Piranômetro e o Actinógrafo, que medem a radiação solar global que atinge uma superfície plana e horizontal. No passado, esses equipamentos tinham alto custo de aquisição e necessitavam de manutenção permanente, e por isso esses equipamentos não eram disponíveis em muitas estações meteorológicas convencionais, que predominaram no Brasil até o final de década de 1990. Por isso, não raramente, para se ter uma série histórica longa de radiação solar necessita-se estimá-la através de variáveis meteorológicas de mais fácil medição, cujos equipamentos funcionaram nas estações por longo período, como por exemplo, o heliógrafo, que mede o brilho solar (VAREJÃO – SILVA, 2006).

A radiação solar é importante em estudos meteorológicos por vários motivos. Uma das aplicações é em modelos de simulações das culturas agrícolas, em que a radiação é o dado de entrada para estimativa de desenvolvimento, crescimento e produtividade das culturas (ALBERTO et al., 2006; AGGARWAL et al., 2006). Dados de radiação solar também são necessários em modelos de estimativa de evapotranspiração, como por exemplo, Penman, Penman – Monteith, Priestley – Taylor, Jensen – Haise, Makking, Tanner – Pelton e Turc (PEREIRA et al., 2002). As relações da radiação solar global incidente com a evapotranspiração máxima de algumas culturas são bastante estudadas, pois a radiação solar é o principal elemento meteorológico que afeta a evapotranspiração máxima das culturas, tanto em culturas a campo como em ambientes protegidos, como por exemplo, estufas plásticas (DALMAGO et al., 2006). A radiação solar também é usada como energia para aquecimento de solos e substratos agrícolas como método físico de desinfestação destes pela técnica de solarização (SCHNEIDER et al., 1993; STRECK et al., 1995; RICCI et al., 2000; GHINI et al., 2003). Por fim, a radiação solar, por ser uma forma de energia limpa e abundante, também pode ser usada para aquecimento de água e geração de energia em propriedades rurais (BLANCO; SENTELHAS, 2002).

## 2.5 Estimativa da Radiação Solar a partir do Brilho Solar

Segundo Estefanel et al. (1990), Ångström, em 1924, propôs um modelo empírico para estimar a radiação solar global, em uma superfície horizontal, através da equação:

$$K_{\downarrow} / K_{A\downarrow} = a' + (1-a')(n/N) \quad (1)$$

em que:

$K_{\downarrow}$  = densidade de fluxo de radiação solar global recebida em uma superfície horizontal ao nível do solo, num dia qualquer ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );

$K_{A\downarrow}$  = densidade de fluxo de radiação solar global recebida em uma superfície horizontal ao nível do solo em dia perfeitamente e completamente límpido ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );

$a'$  = proporção média de radiação solar global recebida em um dia completamente encoberto por nuvens ;

$n$  = brilho solar ( $\text{h dia}^{-1}$ ); e

$N$  = duração do período diurno ( $\text{h dia}^{-1}$ ).

Estefanel et al. (1990) relataram que Prescott, em 1940, e Penman, em 1948, substituíram a densidade de fluxo de radiação solar global recebida em uma superfície horizontal ao nível do solo em dia perfeitamente e completamente limpo ( $K_{A\downarrow}$ ) pela densidade de fluxo de radiação global diária recebida no topo da atmosfera ( $K_{0\downarrow}$ ) na equação (1), pois para estimativa dos coeficientes desta equação eram necessários dados da radiação solar global de dias limpos, o que não era sempre possível. Os autores relataram também que desde então essa equação ficou conhecida como equação de Ångström modificada por Prescott e Penman, ou simplesmente método de Ångström – Prescott e Penman, cuja a equação é:

$$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} [b_0 + b_1(n/N)] \quad (2)$$

em que:

$K_{\downarrow}$  = densidade de fluxo de radiação solar global recebida em uma superfície horizontal ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );

$K_{0\downarrow}$  = densidade de fluxo de radiação solar global diária recebida no topo da atmosfera ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );

$b_0$  e  $b_1$  = coeficientes empíricos estimados através de regressão linear (adimensional);

$n$  = brilho solar ( $\text{h dia}^{-1}$ ); e

$N$  = duração do período diurno ( $\text{h dia}^{-1}$ ).

Segundo Martinez-Lozano et al. (1984), os coeficiente  $b_0$  e  $b_1$  são influenciados por fatores como a latitude, a umidade do ar, a nebulosidade, tipo predominantemente de nuvens e a altitude, assim seus valores são diferentes de local para local e nas diferentes épocas do ano.

A equação de Ångström modificada por Prescott e Penman é a mais usada para estimativa da radiação solar global (Estefanel et al., 1990). Essa equação foi estimada e correlacionada com o brilho solar para diferentes locais do globo terrestre, como na Austrália (SUEHRCKES, 2000), no Japão (YANG et al., 2001), na Turquia (SEN et al., 2001; SAHIN, 2007) e na China (LIU et al., 2009).

No Brasil também existem trabalhos de estimativa dos coeficientes dessa equação para diferentes locais, como por exemplo, Pereira et al. (2000) estimaram equações mensais de regressão entre os totais diários de radiação solar global e brilho solar para a cidade de Carolina no Estado do Maranhão. Blanco e Sentelhas (2002) estimaram o brilho solar para Piracicaba, SP, a partir dos valores anuais dos coeficientes da equação de Ångström - Prescott. Valiati e Ricieri (2005) estimaram a radiação solar global usando a equação de Ångström em escala sazonal e mensal para a região de Cascavel no Estado do Paraná.

Para o Estado do Rio Grande do Sul, Berlato (1971) estimou equações para cálculo da radiação solar global média mensal em função do brilho solar para 17 municípios. Estefanel et al. (1990) estimaram a radiação solar global incidente a partir do brilho solar para três municípios na Região Central do Rio Grande do Sul (Júlio de Castilhos, Santa Maria e São Gabriel). Em outro estudo foi determinada a relação entre radiação solar global e o brilho solar para o Estado do Rio Grande do Sul, com equações para estimar a radiação solar global a partir de dados de brilho solar em nível decendial no período de 1980 a 1990 em 20 locais do Rio Grande do Sul (FONTANA; OLIVEIRA, 1996).

Como visto a Equação de Ångström modificada por Prescott-Penman, é a equação que vem sendo muito usada, por ser simples e fornecer uma boa estimativa da radiação solar global nos diferentes locais ao redor do globo terrestre. Nos últimos anos, alguns estudos propuseram diferentes tipos de estimativa da radiação solar global, onde a diferença está nos dados de entrada dos modelos, usando outros dados meteorológicos além do brilho solar, como exemplo, temperatura do ar (UEYAMA, 2005; SPOKAS; FORCELLA, 2006; BAKIRCI, 2009) ou outras variáveis atmosféricas (STUHLMANN et al., 1990).

Também nos últimos anos surgiram novos estudos com modelos de estimativas de radiação solar global horária a exemplo tem-se o Gueymard (2000) que estimou a radiação solar global horária para 135 locais do planeta. Para 18 locais dos Estados Unidos e Canadá

foram também estimados a radiação solar global horária (YANG et al., 2006). Para algumas regiões do Japão foi desenvolvido um modelo de estimativa da radiação solar global usando como dado de entrada o brilho solar horário e também foram usados dados de precipitação e cobertura de nuvens (MASAKI et al., 2010). Laperuta Filho (1996) desenvolveu modelos de estimativa da radiação solar horária para Botucatu no Estado de São Paulo, os quais se mostraram viáveis e com alto grau de confiabilidade, no entanto, o método analítico do IGMK permite estimar a radiação solar global em qualquer momento a partir do vapor d'água precipitável, teor de aerossóis, grau de nebulosidade e tipo de nuvens determinadas com fotos de satélites (STUHLMANN et al., 1990). Escobedo et al. (2007) estimaram a radiação solar global, direta e difusa em função do índice de claridade e razão de brilho solar em nível horária, diária e mensal para esse mesmo local.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em Santa Maria, RS (latitude: 29°43'S, longitude: 53°42'W e altitude: 95m). Santa Maria está localizada na região fisiográfica da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfa - subtropical úmido sem estação seca definida e com verões quentes (MORENO, 1961).

#### **3.1 Homogeneidade, climatologia, tendência e variabilidade da série histórica de brilho solar mensal em Santa Maria, RS, no período 1912 a 2010**

O brilho solar no período 1912 a 2010 foi o elemento meteorológico analisado neste estudo, que foi medido através de um heliógrafo tipo Campbell-Stokes, onde a incidência direta dos raios solares causa uma carbonização na fita heliográfica, que é graduada em horas e décimos de horas. O somatório do tempo de carbonização da fita heliográfica representa o número de horas de brilho solar diário.

Os dados mensais acumulados de brilho solar foram digitalizados em planilhas eletrônicas do Microsoft Office Excel<sup>®</sup> 2007. Foram considerados dados duvidosos aqueles que apresentaram valores maiores que três desvios padrão e quando a planilha apresentava-se rasgada, com números ilegíveis ou apagados devido ao tempo de uso e freqüente manuseio das planilhas de anotações dos observadores meteorológicos. Os dados faltantes e duvidosos foram preenchidos usando a média mensal do brilho solar nos anos de El Niño, anos de La Niña e anos Neutros. Os anos de ocorrência do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) e anos Neutros foram retirados do NOAA (2011).

Foram considerados dois períodos da série de dados: o período de 1912 até 1967, em que os registros foram feitos na Estação Climatológica Principal (ECP) do Oitavo Distrito de Meteorologia (8° DISME) do INMET localizada no centro de Santa Maria, e o período a partir de 1968 onde a ECP foi transferida para o Campo Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, aproximadamente 10 km a leste do local anterior. Para testar se os dois períodos poderiam ser considerados como uma única série histórica de brilho solar elaborou-se um gráfico com as anomalias mensais médias de brilho solar para os períodos. Essas anomalias foram calculadas pela diferença entre a normal climatológica de cada período e a média mensal.

Para verificar se os dois períodos da série poderiam ser considerados como um único período foi retirada a tendência da série através da análise de regressão linear simples. A equação da reta permite que a tendência seja subtraída da série original, criando-se uma nova série, livre de tendência. Assim, subtraiu-se cada valor da série histórica da linha de tendência da regressão linear (MORETIN; TOLOI, 2004). Há duas finalidades em retirar a tendência numa série temporal: uma é identificar a tendência e usá-la, para fazer previsões e a outra é remover a tendência, de modo a permitir o estudo das outras componentes das séries (MORETIN; TOLOI, 2004).

Para testar a homogeneidade da série de 1912 a 2010 foi usado o teste de sequência ou teste Run (Z) (BACK, 2001). A hipótese nula do teste é de que a distribuição dos dados ocorre normalmente, e que a amostra é aleatória e é testada pela estatística em nível de 5% de significância (BACK, 2001). Para a climatologia da série foram calculadas as estatísticas descritivas média, mínimo e máximo valor absoluto, desvio padrão e coeficiente de variação.

A tendência temporal da série foi avaliada pelo teste não paramétrico de Mann-Kendall a 5% de probabilidade de erro tipo I (BACK, 2001). A versão original do teste de Mann-Kendall foi usada nesta análise para as séries temporais mensais de brilho solar que não apresentaram autocorrelação pelo teste de sequência (SANSIGOLO; KAYANO, 2010) e para séries de brilho solar mensal com correlação serial foi usado o teste de Mann-Kendall modificado (HAMED; RAO, 1998; BASISTHA et al., 2009; SHAHID, 2009). Usou-se também o teste de Pettitt para determinar o ponto de mudança brusca (ano) na série histórica (BACK, 2001).

Usou-se o método da função densidade espectral de potências calculada com o Teorema de Wiener, com defasagem (lags) de 80 anos para detectar ciclos anuais relacionados ao fenômeno ENOS e à ODP (SOUZA et al., 2009). Considerou-se que os harmônicos (que representam o ciclo ou frequência das oscilações) são significativos quando os valores da densidade espectral são superiores aos valores de probabilidade de 95% pelo teste do qui-quadrado (SOUZA et al., 2009).

Para as séries de brilho solar mensal e sazonal (verão: dezembro, janeiro e fevereiro; outono: março, abril e maio; inverno: junho, julho e agosto; primavera: setembro, outubro e novembro) foram calculadas médias para as fases dos fenômenos ENOS e ODP. Os anos de ENOS foram obtidos do NOAA (2011). A ODP foi definida em quatro períodos: 1925–1946 (primeira fase quente da ODP), 1947–1976 (fase fria da ODP), 1977 – 1998 (segunda fase quente da ODP) e 1999–2010 (fase fria), sendo que esse último período incluído na análise

por ter-se a expectativa de que a ODP está entrando em uma nova fase fria (JISAO, 2011). O período anterior a 1925 não foi incluído, pois não é clara em que fase estava a ODP neste período (MANTUA; HARE, 2002).

### **3.2 Tendência histórica e variabilidade do brilho do solar horário em Santa Maria, RS – período 1968 - 2010**

O elemento meteorológico analisado neste estudo também foi o brilho solar, porém o período foi de julho de 1968 até dezembro de 2010, que é medido na Estação Climatológica Principal do Instituto Nacional de Meteorologia (8° DISME), localizada no Campo Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria.

Os dados de brilho solar horários foram digitalizados e calculados os totais diários. Os totais diários foram divididos em dois períodos, manhã (início do registro de brilho solar até as 12 horas) e tarde (das 12 horas até o final de registro de brilho solar). Posteriormente, cada metade do total diário foi dividido ainda em dois períodos, do início do registro de brilho solar até as 9 horas (manhã 1), das 9 às 12 horas (manhã 2), das 12 às 15 horas (tarde 1) e das 15 horas até o final do registro de brilho solar (tarde 2), totalizando quatro períodos. Esses sete períodos foram analisados também nas quatro estações do ano. A análise da série temporal do primeiro quarto do dia (manhã 1) é de particular interesse, pois poderá indicar alterações no brilho solar associados a nevoeiros e/ou sombreamento devido a obstáculos no lado Leste da Estação enquanto que o último quarto do dia (tarde 2) poderá indicar alterações do brilho solar associados à nebulosidade de origem termo-convectiva e/ou sombreamento devido a obstáculos no lado Oeste da Estação.

Para testar a homogeneidade da série de brilho solar nos sete períodos diários foi usado o teste de seqüência (BACK, 2001). A hipótese nula do teste é de que a distribuição dos dados ocorre normalmente, e que a amostra é aleatória e é testada pela estatística Z ao nível de 5% de significância, Z deve estar entre -1,96 e 1,96. Caso Z calculado seja maior que o valor tabelado, deve-se rejeitar a hipótese de nulidade e a série é heterogênea (BACK, 2001). Foram também calculadas as estatísticas descritivas média, mínimo e máximo valor absoluto, desvio padrão e coeficiente de variação.

A tendência temporal da série foi avaliada pelo teste não paramétrico de Mann-Kendall a 5% de probabilidade de erro tipo I (BACK, 2001). A versão original do teste de Mann-Kendall foi usada nesta análise para as séries temporais de brilho solar que não apresentaram autocorrelação pelo teste de seqüência (SANSIGOLO e KAYANO, 2010) e

para séries de brilho solar com existência de correlação serial foi usado o teste de Mann-Kendall modificado (HAMED; RAO, 1998; BASISTHA et al., 2009; SHAHID, 2009). Usou-se também o teste de Pettitt para determinar o ponto de mudança brusca (ano) na série histórica (BACK, 2001).

Usou-se o método da função densidade espectral de potências calculada com o Teorema de Wiener, com defasagem (lags) de 15 anos para detectar ciclos anuais relacionados ao fenômeno ENOS (SOUZA et al., 2009). Considerou-se que os harmônicos (que representam o ciclo ou frequência das oscilações) são significativos quando os valores da densidade espectral são superiores aos valores de probabilidade de 95% pelo teste do qui-quadrado (SOUZA et al., 2009). Os anos de ocorrência e duração do ENOS foram retirados de NOAA (2011).

### **3.3 Estimativa da radiação solar global horária a partir da equação de Ångström modificada por Prescott e Penman para Santa Maria, RS.**

Os elementos meteorológicos que foram analisados neste estudo são o brilho solar horário registrado no período de 2002 a 2010 pela estação convencional e a radiação solar global também registrada no período de 2002 a 2010 pela estação automática da Estação Climatológica Principal do Instituto Nacional de Meteorologia (8º DISME), localizada no Campo Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria.

Para a estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária, de 2 em 2 horas e de cada sub-período do dia, manhã (início do registro de brilho solar até as 12 horas) e tarde (das 12 horas até o final de registro de brilho solar). Posteriormente, cada metade do total diário foi dividido ainda em dois períodos, do início do registro de brilho solar até as 9 horas (manhã 1), das 9 às 12 horas (manhã 2), das 12 às 15 horas (tarde 1) e das 15 horas até o final do registro de brilho solar (tarde 2), a partir do brilho solar pela equação de Ångström modificada por Prescott e Penman foram usados os anos ímpares para ajustar os coeficientes e os anos pares para avaliar a equação como dados independentes, de acordo com a seguinte equação:

$$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (b_0 + b_1(n/N)) \quad (3)$$

Os valores de brilho solar, radiação solar global e radiação solar global no topo da atmosfera foram coletados e estimados a nível horário, considerando também, períodos como: do nascer do sol até ao meio dia (manhã) , do meio dia ao pôr do sol (tarde), do

nascer do sol às 9:00 h (manhã 1), das 9:00 às 12:00 h (manhã 2), das 12:00 às 15:00 h (tarde 1), das 15:00 h até ao pôr do sol (tarde 2) e também períodos do nascer ao pôr do sol de 2 em 2 horas. A radiação solar global no topo da atmosfera foi estimada pela seguinte equação:

$$K_{0\downarrow} = J_0 \left(\frac{R_m}{R}\right)^2 (H \sin\delta \sin\theta + \cos\delta \cos\theta \sin H) \quad (4)$$

em que:  $J_0$  = constante solar ( $4,9212 \text{ MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ),  $R_m$  e  $R$  = distância terra-sol, média instantânea e  $H$  = ângulo horário, respectivamente, calculados em Estefanel et al. (1990),  $\delta$  = ângulo de declinação do sol,  $\theta$  = latitude ( $29^\circ 43'$  - Santa Maria).

A avaliação dos modelos seguia as estatísticas RQME (Raiz Quadrada do Erro Médio) (JANSSEN; HEUBERGER, 1995) e BIAS (Viés) (AKINOGLU, 2008; WANG; ZHANG, 2010) pelas seguintes fórmulas:

$$\text{RQME} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e - o)^2} \quad (5)$$

$$\text{BIAS} = \frac{\sum_{i=1}^n (e - o)}{n} \quad (6)$$

em que:

$n$  é o número de observações,  $e$  são os valores estimados e  $o$  é os valores observados.

O RQME expressa o erro produzido pelo modelo. Quanto menor for o valor dessa estatística, melhor o modelo. O BIAS expressa a tendência das estimativas do modelo em relação aos valores observados, sendo o desvio médio dos valores estimados em relação aos observados (Schneider, 2009). Quanto mais próximo de zero for o valor dessa estatística, menor é o erro de estimativa do modelo e melhor é o modelo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Homogeneidade, climatologia, tendência e variabilidade da série histórica de brilho solar mensal em Santa Maria, RS, no período 1912 a 2010

Do total de dados da série do período de 1912 a 1967, apenas 9% dos dados considerados duvidosos e com falhas precisaram ser preenchidos, essa porcentagem foi considerada baixa. As séries de brilho solar mensais, preenchidas com a média aritmética do período 1912 a 1967 e a série preenchida com a média dos anos de ENOS e anos Neutros para são apresentadas na Figura 8. Observa-se que a série que melhor representa as variações do brilho solar mensal ao longo dos anos e resultou uma melhor representação da realidade dos dados foi a série preenchida com a média dos anos de ENOS e anos Neutros (Figura 8). Portanto, a série que foi usada nas análises seguintes foi à série em que as falhas foram preenchidas com as médias de brilho solar nos anos de ENOS e anos Neutros.

Uma análise gráfica com as anomalias médias mensais de brilho solar nos dois períodos (1912 a 1967 e 1968 a 2010) da série histórica indicou que ambos os períodos tem a mesma variação e magnitude ao longo do ano (Figura 9). A partir destes resultados decidiu-se considerar os dois períodos como uma série única, apesar da estação meteorológica ter sido trocada de local.

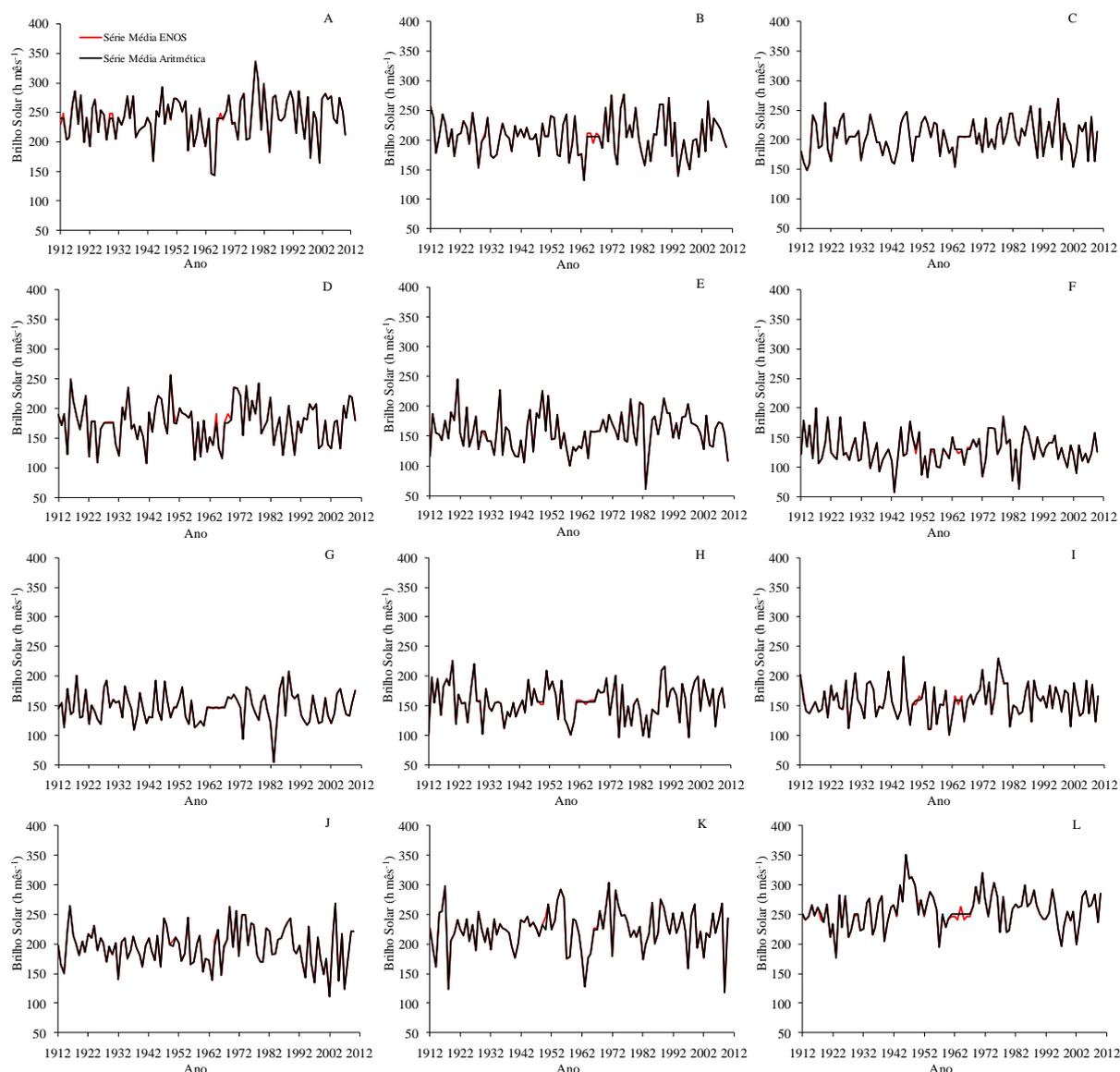


Figura 8 – Série mensal histórica de brilho solar preenchida com a média dos anos de ENOS e anos Neutros (linha contínua vermelha) e a série preenchida com a média aritmética (linha contínua preta) nos períodos 1912 a 1967 e 1968 a 2010 em Santa Maria, RS. janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L).

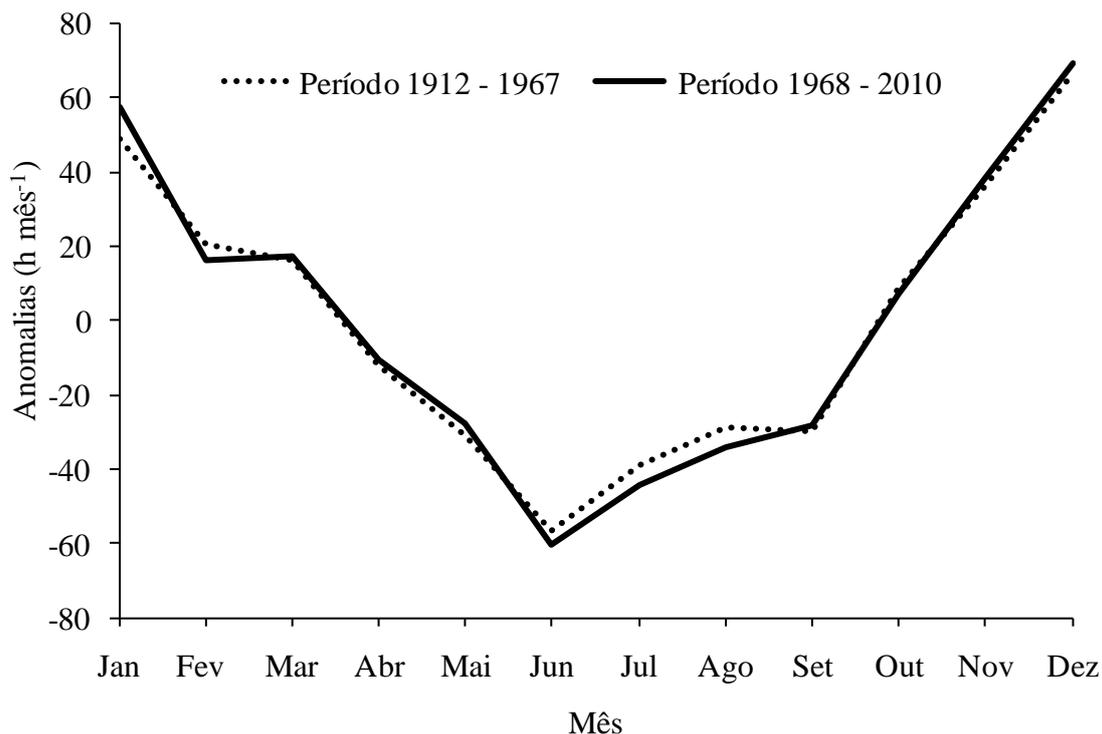


Figura 9 – Anomalias médias mensais da série histórica de brilho solar preenchida com a média dos anos de ENOS e anos Neutros para os períodos 1912 a 1967 e 1968 a 2010 em Santa Maria, RS.

Em outra análise gráfica também se confirmou que a série de brilho solar mensal preenchida com a média dos anos de ENOS e anos Neutros nos dois períodos pode ser considerada como uma única série, pois as séries livres de tendência seguem as mesmas variações da série normal ao longo dos anos (Figura 10). Analisando empiricamente a série livre de tendência, observa-se que a série é composta de variabilidade, que podem estar associada às oscilações com periodicidades interanuais e interdecadais.

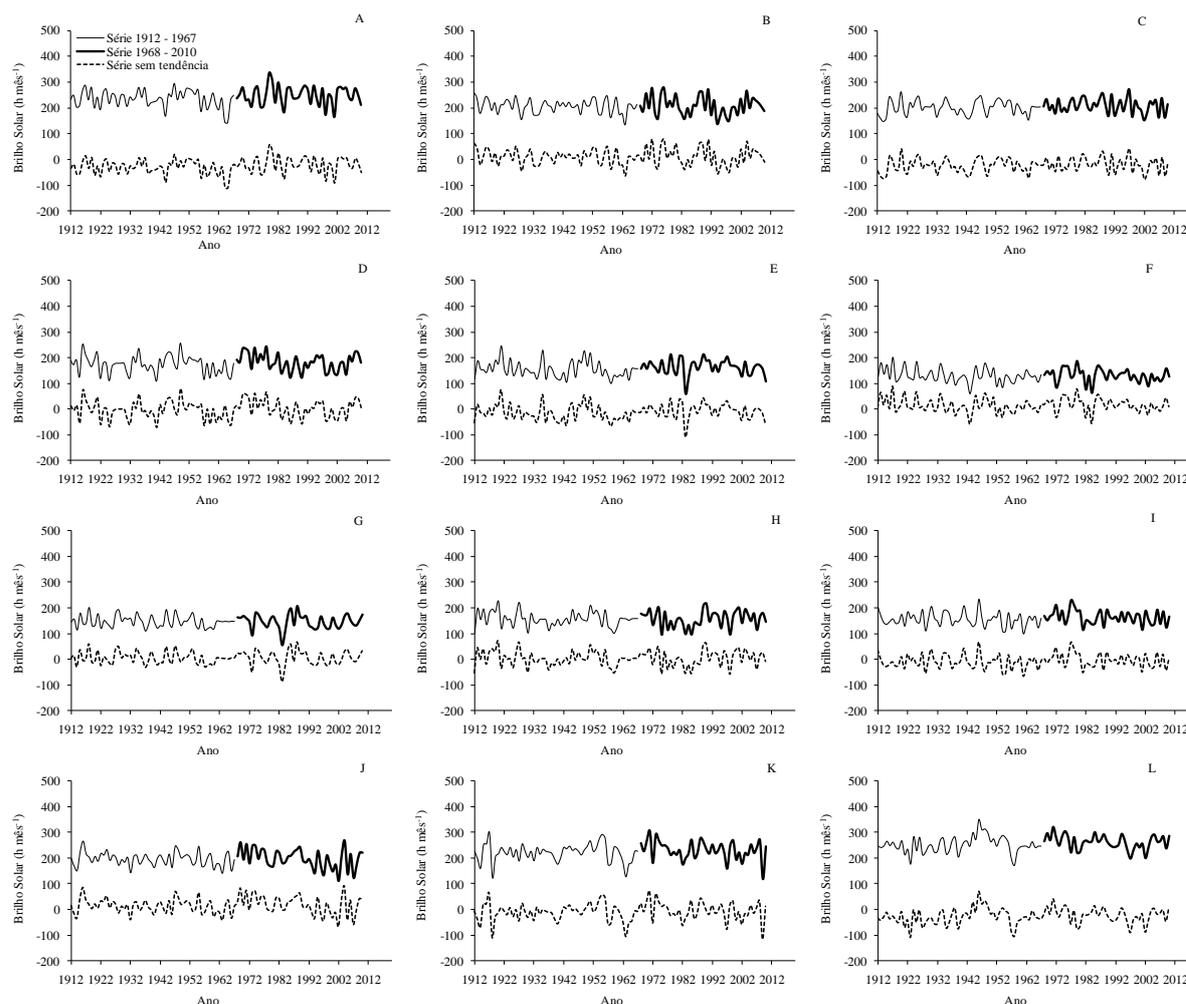


Figura 10 – Série histórica mensal de brilho solar preenchida com a média dos anos de ENOS e anos Neutros nos períodos 1912 a 1967 e 1968 a 2010 e a mesma série livre de tendência em Santa Maria, RS. janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L).

Para determinar a climatologia das séries mensais de brilho solar foram consideradas como um único período de 1912 a 2010 (Tabela1). A média mensal varia de 129,7 horas/mês em junho a 249,8 horas/mês em dezembro, coincidindo com os meses de solstício de inverno e de verão, respectivamente, em que a duração astronômica do dia é menor e maior durante o ano no Hemisfério Sul. Para o Rio Grande do Sul, Custódio et al. (2007) também encontraram a maior média de brilho solar no mês de dezembro (249,3 horas) e a menor média para o mês de junho (134,9 horas). Os valores mínimos e máximos variaram de 54,9 horas/mês (julho) a 142,9 horas/mês (janeiro) e de 200,3 horas/mês (junho) a 350 horas/mês (dezembro), respectivamente.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas da série histórica de brilho solar mensal e sazonal em Santa Maria, RS, no período de 1912 a 2010.

Meses/ Estações do ano	Média *	Mínimo *	Máximo *	CV**	DP***
Janeiro	240,5	142,9	336,7	14,6	35,1
Fevereiro	206,6	132,7	277,5	15,1	31,2
Março	204,7	148,2	270,3	13,6	27,8
Abril	176,5	107,7	256,0	19,1	34,0
Maiο	158,4	61,9	245,0	19,6	31,1
Junho	129,7	58,2	200,3	20,4	26,4
Julho	146,7	54,9	207,8	17,3	25,4
Agosto	156,7	95,8	226,0	19,2	30,1
Setembro	158,8	100,1	232,4	17,0	27,0
Outubro	195,8	111,6	268,2	16,3	32,0
Novembro	224,8	117,5	303,5	15,7	35,2
Dezembro	249,8	113,2	350,6	16,2	40,5
Verão	232,6	171,5	285,2	10,9	25,3
Outono	179,9	134,3	235,5	12,3	22,2
Inverno	144,4	94,5	182,7	12,6	18,2
Primavera	193,2	144,5	245,2	10,4	20,0

\*Média, Mínimo e máximo valor absoluto de brilho solar mensal (h), \*\* Coeficiente de variação (%), \*\*\* Desvio padrão (h).

O coeficiente de variação é uma estatística que representa a variabilidade relativa da variável na série histórica, a qual variou de 13,6% em março a 20,4% em Junho (Tabela 1). A maior variabilidade ocorreu na estação de inverno e a menor na estação de primavera (Tabela 1). Estes resultados indicam grande variabilidade interanual de brilho solar em Santa Maria. Uma das causas dessa variabilidade interanual pode ser o El Niño Oscilação Sul (GRIMM et al., 1998; GRIMM et al., 2000), visto que Santa Maria está localizada na região Sudeste da América do Sul, uma região de forte sinal do ENOS (GRIMM et al., 1998; GRIMM et al., 2000).

Pelo teste Run, somente a série de dados de brilho solar mensal do mês de dezembro não foi significativo (Tabela 2), indicando que a série é heterogênea e há autocorrelação na série de dados desse mês. Nos demais onze meses, as séries são homogêneas e, portanto, as séries históricas de brilho solar mensal dos meses de janeiro a novembro não tem heterogeneidade e podem ser usados para estudos mais detalhados que envolvam análises de tendência climática (Tabela 2). Back (2001) observou que em Urussanga, SC, no período de

1924 a 1998 as séries de precipitação pluvial total anual e da temperatura média anual não foram homogêneas quando analisada pelo teste Run.

Para a série de brilho solar mensal de janeiro a novembro o teste de Mann-Kendall original não identificou tendência significativa e o teste de Pettitt também não identificou mudança brusca significativa. O mesmo ocorreu para as estações de inverno, primavera e verão (Tabela 2). O mês de dezembro e a estação de outono, que apresentaram séries com autocorrelação, foram testadas com o teste de Mann - Kendall modificado, cujo o resultado também não foi significativo (Tabela 2). Trabalhos semelhantes encontraram para séries de temperatura máxima, temperatura mínima e de precipitação sazonais para o Rio Grande do Sul entre 1914 e 2006 tendências significativas pelo teste de Mann-Kendall (SANSIGOLO; KAYANO, 2010). Nas séries de temperatura máxima, temperatura mínima e de precipitação foram identificadas tendências significativas na estação do verão e tendências significativas foram identificadas para série de temperatura mínima do ar nas estações de outono e de inverno (SANSIGOLO; KAYANO, 2010).

Estes resultados indicam que, ao longo dos 100 anos de dados de brilho solar mensal da Estação Climatológica de Santa Maria a série não teve mudanças bruscas e nem tendência de acréscimo ou de decréscimo, ou seja, as séries mensais de brilho solar em Santa Maria, na escala secular são estacionárias. Estes resultados divergem de resultados daqueles obtidos or outros estudos. Em Viçosa, Minas Gerais, no período de 1961 a 2004 foram encontrados dois pontos de descontinuidade significativos nos meses de abril e novembro, com decréscimo do brilho solar na década de 1960 até meados da década de 1990 (MINUZZI et al., 2010). Para o Rio Grande do Sul, Custódio et al. (2009) encontraram tendência de incremento na nebulosidade anual e para os meses de outono e verão, no período de 1960 a 2005, ou seja, estaria ocorrendo uma diminuição no brilho solar. O fato desses resultados não concordarem com outros trabalhos pode estar relacionado ao período de análise das séries naqueles trabalhos serem menores que 50 anos enquanto a série deste trabalho é de 100 anos.

Tabela 2 – Teste de Sequência ou Teste Run ( $Z$ ), Teste Mann-Kendall ( $\tau$ ), o Teste Pettitt ( $K$ ) e suas probabilidades aplicados à série histórica de brilho solar mensal e sazonal em Santa Maria, RS, no período de 1912 a 2010.

Meses/Estações do ano	$Z$	$\tau$	probabilidade	$K$	probabilidade
Janeiro	1,324	0,0925	0,1756	606	0,1692
Fevereiro	0,304	-0,0597	0,3823	346	0,7833
Março	-0,496	0,0822	0,2288	523	0,2985
Abril	-1,508	0,0179	0,7925	379	0,6817
Maio	-0,706	0,0627	0,3580	608	0,1672
Junho	0,304	0,0043	0,9494	372	0,7167
Julho	-0,908	0,0052	0,9397	228	0,9889
Agosto	-0,706	0,0035	0,9590	453	0,4781
Setembro	0,506	0,0378	0,5801	423	0,5547
Outubro	-0,706	-0,0272	0,6898	439	0,5111
Novembro	-0,660	0,0417	0,5413	436	0,5193
Dezembro	-3,333*	0,0480	0,6850	624	0,1412
Outono	-2,323*	0,0557	0,4601	585	0,1906
Inverno	-0,504	-0,0158	0,8159	362	0,7400
Primavera	-0,706	0,0008	0,9900	435	0,5231
Verão	-1,514	0,0761	0,2646	646	0,1183

\* teste não significativo a 5% de probabilidade.

A análise de densidade espectral nas séries de brilho solar mensais com defasagem de 80 anos encontra-se na Figura 11. Os ciclos significativos foram 2,8 anos no mês de janeiro (Figura 11A), 2,6; 3,9 e 16 anos no mês de fevereiro (Figura 11B), de 10 anos no mês de março (Figura 11C), 2,3; 3,2; 3,6 e 32 anos no mês de abril (Figura 11D), 3,1; 3,4; 3,6 e 23 anos no mês de maio (Figura 11E), 3,8 anos no mês de junho (Figura 11F), 2,9; 5,2 e 20 anos no mês de julho (Figura 11G), 2,3 e 22,9 anos no mês de agosto (Figura 4H), 2,4 anos no mês de setembro (Figura 11I), 4,8 e 20 anos no mês de novembro (Figura 11K) e 2,3; 3,7 e 4,3 no mês de dezembro (Figura 11L).

Na escala sazonal, em todas as estações do ano apresentaram ciclos significativos (Figura 12). No outono os ciclos significativos foram 3,1; 3,6 e 22,9 anos (Figura 12A), no inverno 20 anos (Figura 12B), na primavera 3,0; 3,6; 4,3 e 20 anos (Figura 12C) e no verão 3,7 e 32 anos (Figura 12D). Considerando-se que a periodicidade do ENOS é na escala interanual (3-7 anos) (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987; GRIMM et al., 1998, GRIMM et al., 2000) e que a periodicidade da ODP é na escala decadal até multidecadal (20 a 50 anos)

(MANTUA et al., 1997), a maior parte das oscilações nas séries mensais e sazonais de brilho solar (Figura 11 e 12) podem estar associadas à estes dois fenômenos de grande escala na Bacia do Pacífico. Assim, o sinal de periodicidade em escala menor que 10 anos e ligada ao ENOS sobre o brilho solar aparece nos meses de abril, maio, julho, agosto, novembro e dezembro e coincide com meses de sinal de ENOS influenciando na precipitação do RS (GRIMM et al., 1998, 2000; PSCHIEDT; GRIMM, 2008; GRIMM; TEDESCHI, 2009; JUSTINO et al., 2010, GRIMM, 2011).

Durante as fases da ODP, o sinal do ENOS também aparece, ou seja, as anomalias da temperatura da superfície do mar do ENOS são oscilações anuais dentro da ODP. Durante a fase fria da ODP as La Niñas são mais fortes e os El Niños mais fracos enquanto que na fase quente da ODP as La Niñas são mais fracas e os El Niños são mais fortes, ou seja, quando o ENOS e a ODP estão na mesma fase, acentuam-se as anomalias de precipitação (SILVA, 2006). O sinal da ODP sobre a precipitação do RS já foi demonstrado (REBELLO, 2006; CERA et al., 2009; PRESTES et al., 2010). Portanto, ocorrendo aumento de precipitação há aumento de nebulosidade e diminuição do brilho solar e vice-versa.

Na escala sazonal existe um sinal dentro da banda de sinal do ENOS em todas as estações do ano, provavelmente devido ao agrupamento de três meses em cada estação, indicando que o acumulado de horas de brilho solar na estação é afetado pelo ENOS. Quanto ao sinal da ODP, apenas os meses de março e outubro não tiveram periodicidades significativas na banda decadal ou multidecadal, indicando que em 10 meses do ano há sinal provável da ODP sobre o brilho solar em Santa Maria. Porém, na escala sazonal houve oscilações periódicas significativas na banda decadal e multidecadal nas quatro estações do ano, indicando que o acúmulo de horas de brilho solar em escala sazonal tem sinal da ODP.

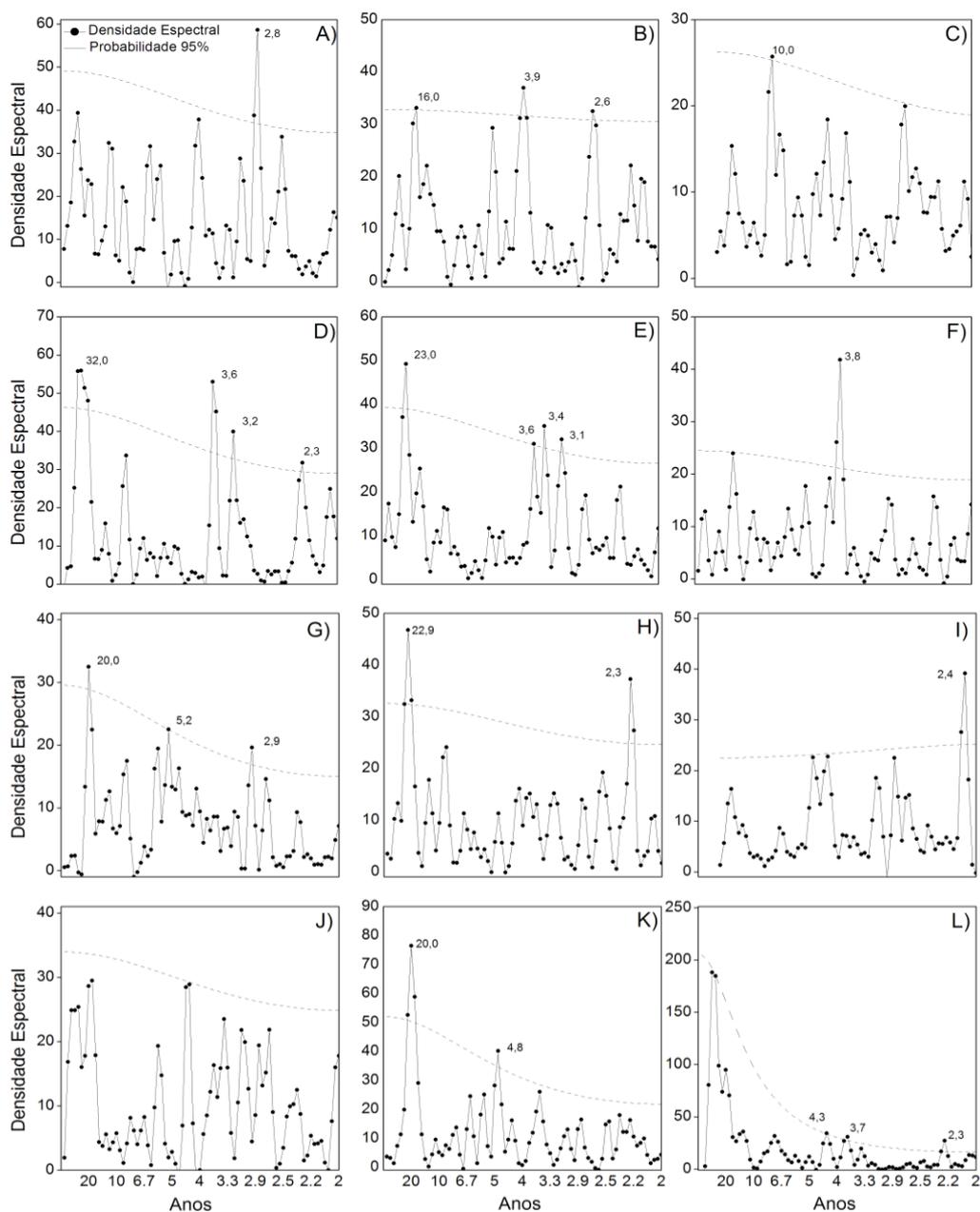


Figura 11 – Densidade espectral de potências com defasagem (lag) de 80 anos para as séries históricas de brilho solar mensais de Santa Maria, RS, no período 1912-2010. A linha pontilhada indica o nível de 95% de probabilidade pelo teste qui-quadrado, ou seja, ciclos acima da linha pontilhada são significativos a 5%. Janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L).

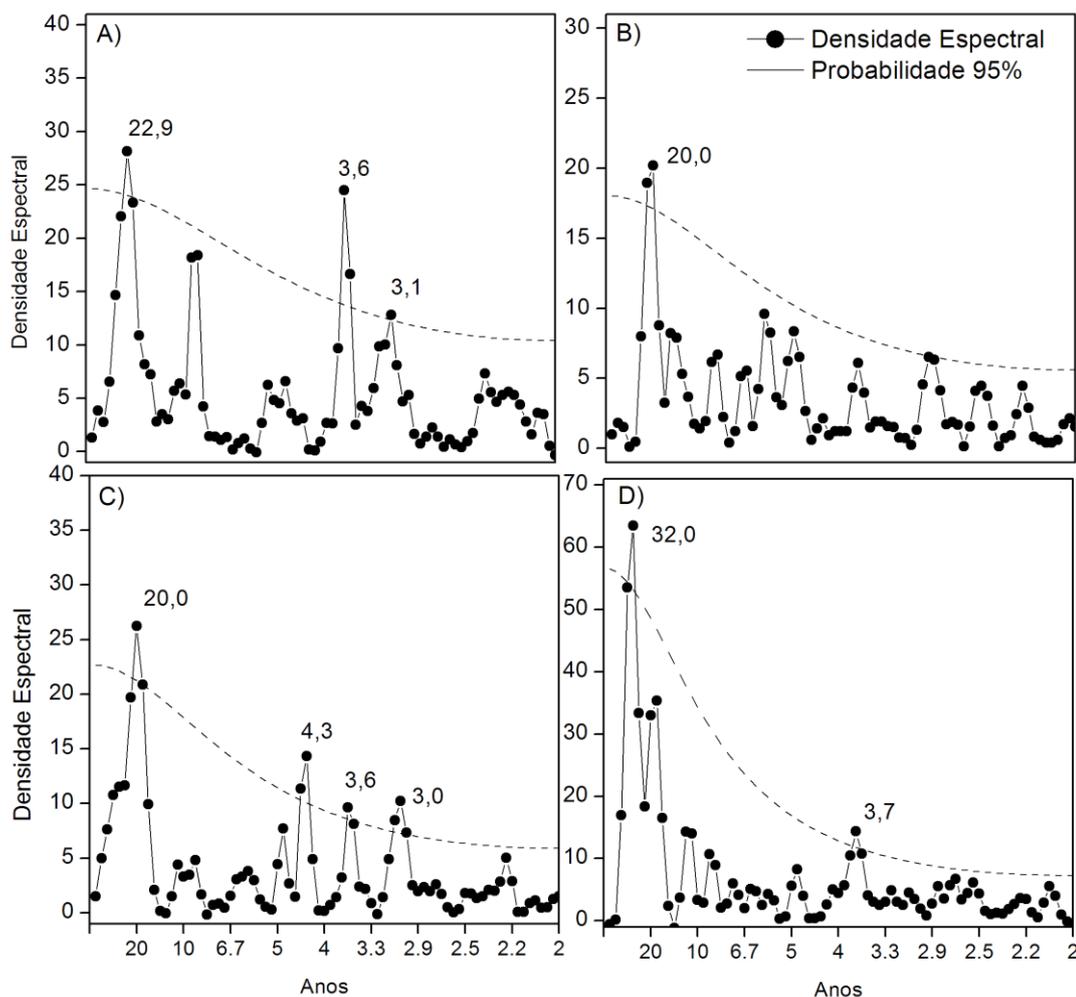


Figura 12 – Densidade espectral de potências com defasagem (lag) de 80 anos para as séries históricas de brilho solar de Santa Maria, RS, nas estações do ano no período 1912-2010. A linha pontilhada indica o nível de 95% de probabilidade pelo teste qui-quadrado, ou seja, ciclos acima da linha pontilhada são significativos a 5%. Outono (A), inverno (B), primavera (C) e verão (D).

A influência do ENOS se verifica nos valores médios mensais (Figura 13) e nos sazonais (Figura 14), onde se verifica que em anos de La Niña o brilho solar é maior nos meses de abril, maio, outubro, novembro e dezembro quando comparados com anos de El Niño e anos Neutros. Nos meses de janeiro, fevereiro, março, junho, julho, agosto e setembro o brilho solar mensal é maior em anos de El Niño do que em anos de La Niña e Neutros (Figura 13). Para o inverno, o total mensal de brilho solar é similar na fase quente e fria do ENOS anos Neutros (Figura 14). Para as estações de outono, primavera e verão em anos de La Niñas as médias de brilho solar mensal são maiores que anos Neutros e La Niñas (Figura 14). Esses resultados são semelhantes aos encontrados por Custódio et al. (2007),

onde em La Niña houve maiores médias de brilho solar quando comparado a anos Neutros para o Rio Grande do Sul, principalmente nos meses de primavera e início de verão como mostra a Figura 14.

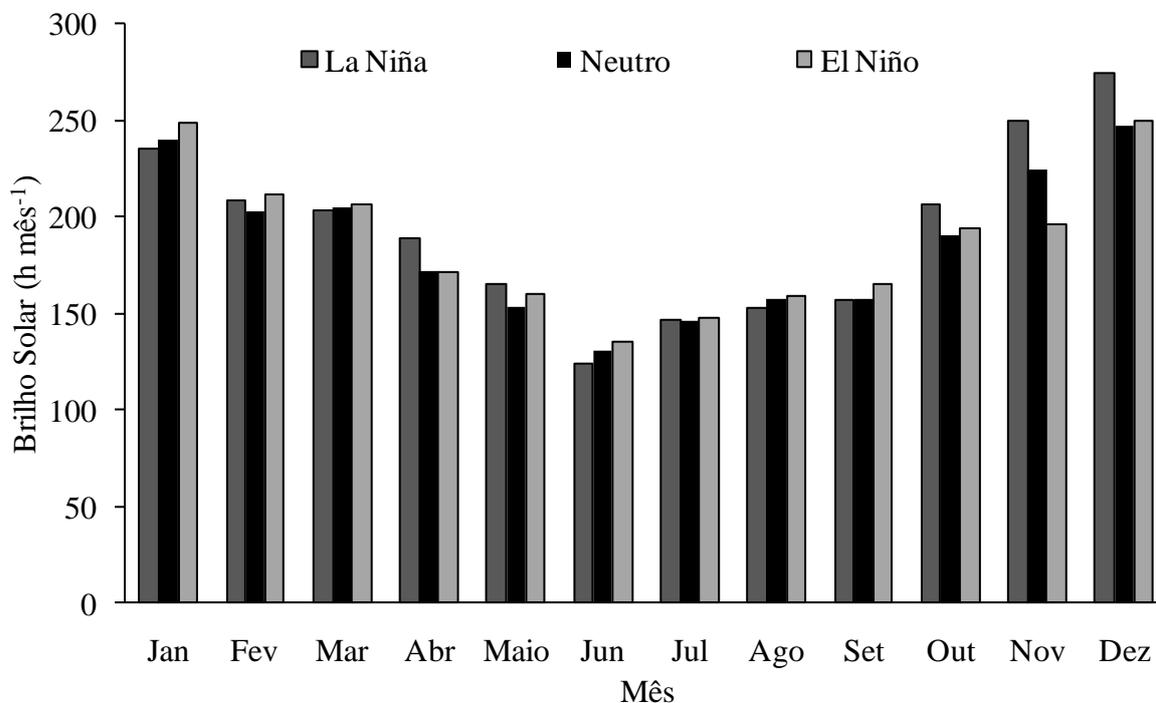


Figura 13 – Brilho solar médio mensal em anos de ENOS e anos Neutros em Santa Maria, RS, no período 1912-2010.

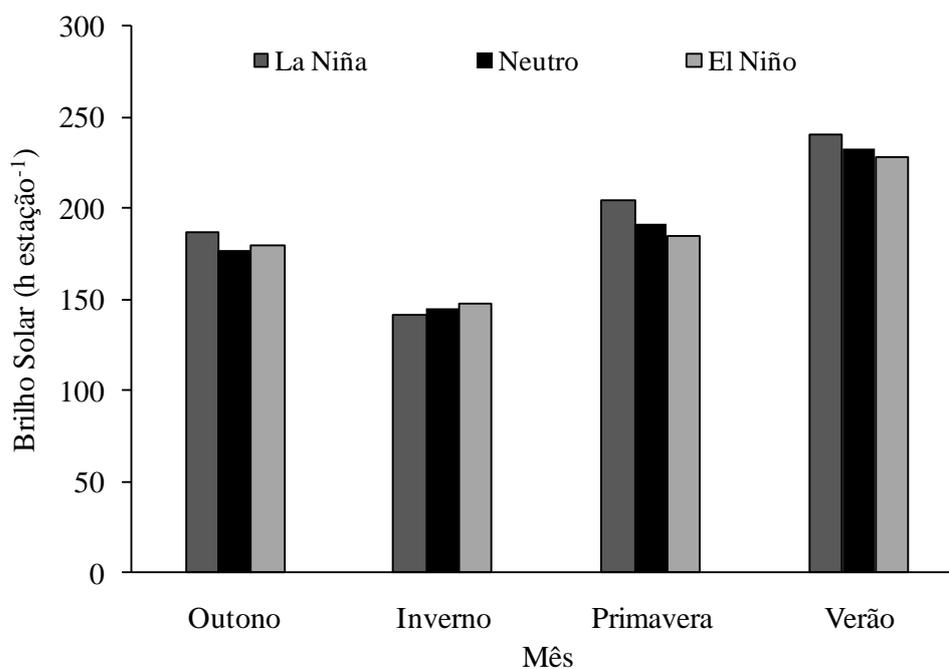


Figura 14 – Brilho solar sazonal médio mensal em anos de ENOS e anos Neutros em Santa Maria, RS, no período 1912-2010.

A última fase fria da ODP (1999-2010) é a fase na qual se obteve a maior média de toda série de brilho solar mensal e ocorreu no mês de dezembro (257,5 h) e ocorreu à menor média de brilho solar mensal, verificado no mês de junho (121,0 h) (Figura 15).

As maiores médias de brilho solar mensal ocorreu no verão para todas as fases da ODP, seguido da primavera, outono e inverno (Figura 16), porém na atual fase da ODP onde ocorreu a maior média de brilho solar no verão (241,9 h). Quando ENOS e ODP estão em mesma fase, os El Niños e La Niñas se manifestam com forte intensidade (KAYANO; ANDRIOLI, 2007; GARCIA; KAYANO, 2008). Em se confirmando que atual fase é uma fase fria da ODP, podem-se manifestar com maior intensidade também a fase fria do ENOS, a La Niña, com isso maior horas de brilho solar.

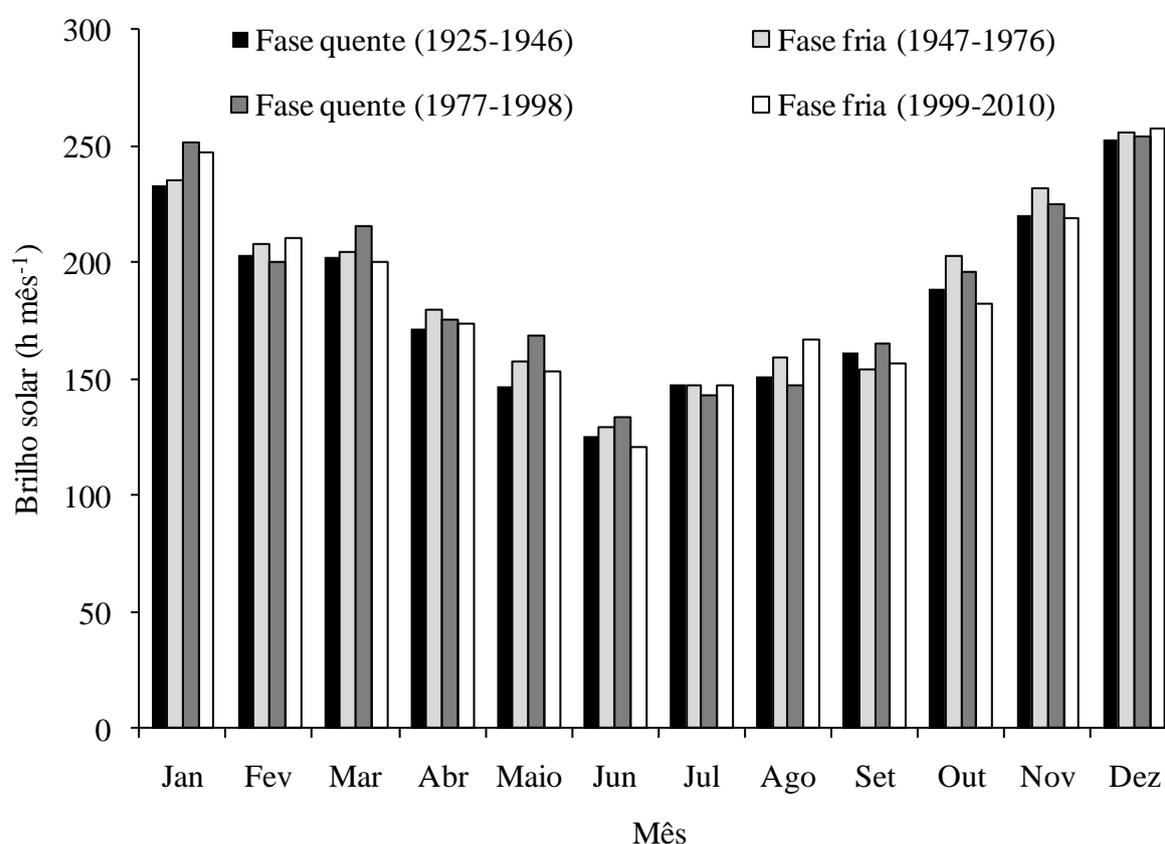


Figura 15 – Brilho solar mensal nas fases da ODP em Santa Maria, RS, no período 1912-2010.

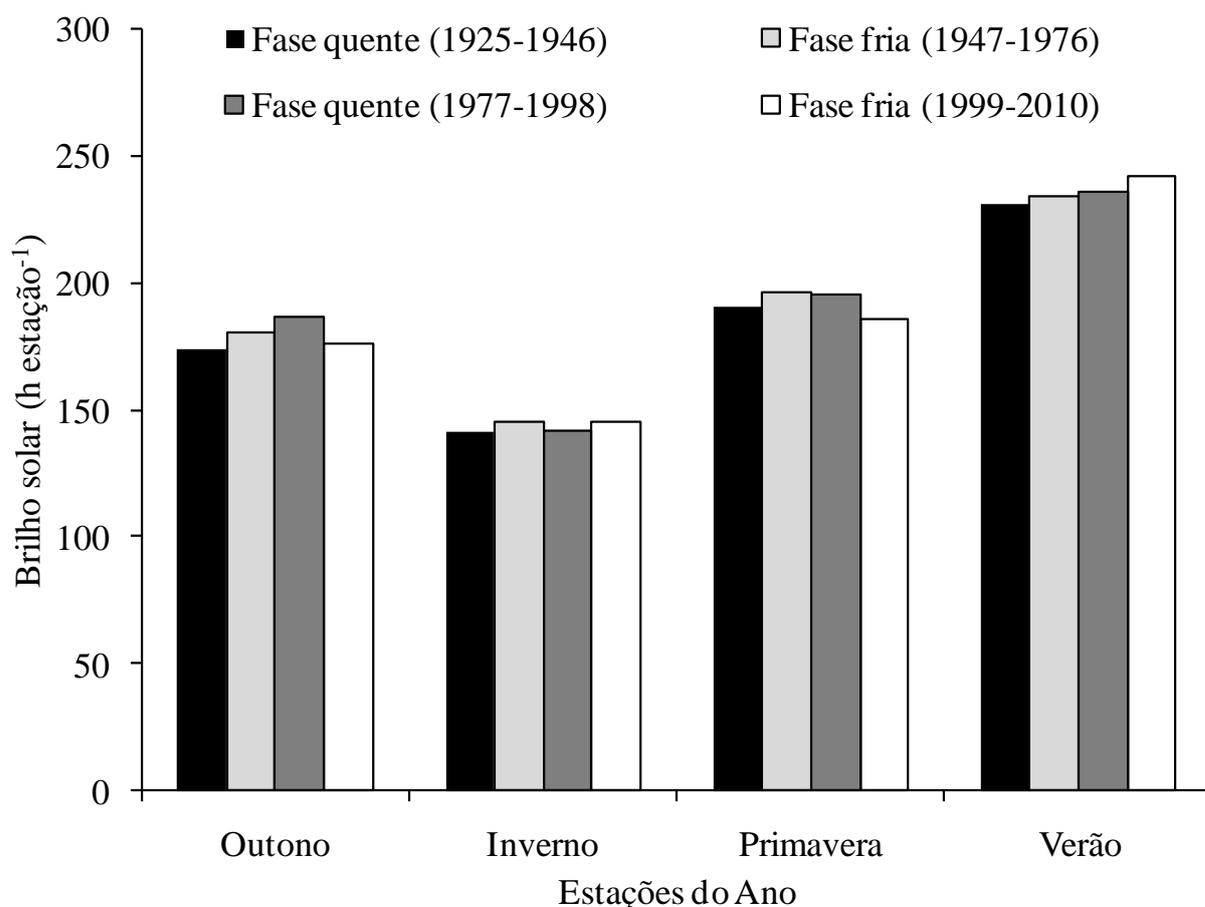


Figura 16 – Brilho solar médio mensal nas estações do ano nas fases da ODP em Santa Maria, RS, no período 1912-2010.

Este estudo atualiza a série histórica de brilho solar quanto a climatologia e as análises de homogeneidade e de tendências e, portanto, a série pode ser usada para posteriores estudos climáticos e agroclimáticos para região de Santa Maria, RS. Além disso, este estudo vem complementar outros, quanto a variabilidade de variáveis meteorológicas, neste caso o brilho solar, que são influenciados por fenômenos como o ENOS e a ODP. Na agricultura essas influências podem ser positivas e ou negativas, já que ocorrem geralmente nas estações do ano, primavera e verão, afetando, por exemplo, o número de dias trabalháveis para fazer as atividades de implantação das culturas de verão (semeadura, dessecação da vegetação verde em áreas de plantio direto) e de colheita das culturas de inverno. No final do verão início do outono (fevereiro a maio), afeta o número de dias trabalháveis para fazer a colheita das culturas de verão, manejo da soca das lavouras de arroz irrigado e atividades de implantação das culturas de inverno (trigo e pastagens) (BERLATO; FONTANA, 2003).

Em outras áreas, como as áreas urbanas, estudos em relação às horas acumuladas de brilho solar têm implicações também em projetos arquitetônicos e em projetos de engenharia civil e elétrica, pois estes levam em conta as horas de brilho solar disponível, devido à importância da luz natural nos locais e o tempo de duração dessa luz, evitando-se o consumo da luz artificial (SAYDELLES; SARTORI, 2004; CARUZZO, 2008). Assim, este estudo pode auxiliar nas tomadas de decisões quanto ao manejo do calendário agrícola de muitas culturas e no planejamento urbano, pois se sabe da influência do ENOS (escala anual) e da ODP (escala decadal) na variabilidade na série de brilho solar mensal e sazonal.

#### **4.2 Tendência histórica e variabilidade do brilho do solar horário em Santa Maria, RS – período 1968 - 2010**

As maiores médias mensais de brilho solar diário ocorreram nos meses de novembro (7,7 h dia<sup>-1</sup>), dezembro (8,4 h dia<sup>-1</sup>) e janeiro (8,1 h dia<sup>-1</sup>), ou seja, nos meses mais quentes do ano e quando o comprimento do dia é maior (Tabela 3). Esses valores são semelhantes às médias de brilho solar mensal encontrados por Buriol et al. (1991) para Santa Maria no período de 1976 a 1986.

No período da tarde foram encontradas as maiores médias de brilho solar para todos os meses quando comparado com o período da manhã (Tabela 3). A maior variabilidade ocorreu no período da manhã (Tabela 3), explicando assim porque menores médias de brilho solar ocorreram pela manhã, devido a ocorrência de nevoeiros em alguns meses do ano nesse período do dia de acordo com Buriol et al. (1991).

Quando o dia foi dividido em quatro períodos, o período tarde 1 (das 12 às 15 h), foi o período em que ocorreram as maiores médias de brilho solar para todos os meses (Tabela 3). Os máximos valores absolutos de brilho solar médio mensal diário ocorreram nos meses de janeiro (10,9 h) e o mínimo (1,8 h) ocorreu nos meses de julho. No período da tarde encontrou-se o máximo valor absoluto de brilho solar que também ocorreu no mês de janeiro (5,6 horas), quando comparado com o período da manhã. O mínimo valor absoluto (0,9 horas) ocorreu no mês de julho pela manhã (Tabela 3).

Tabela 3 – Média mensal (Média, h dia<sup>-1</sup>), desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV) (%), máximo e mínimo valores absolutos de brilho solar médio mensal diário e nos períodos do dia manhã, tarde, manhã 1 e manhã 2 e tarde 1 e tarde 2 em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

Períodos	Estatísticas	Meses											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Diário	Média	8,0	7,4	6,8	6,0	5,3	4,4	4,7	5,1	5,4	6,4	7,7	8,4
	DP	1,2	1,3	0,9	1,1	1,0	0,8	0,9	1,0	0,9	1,3	1,2	0,9
	CV	14,9	17,1	13,1	18,6	18,2	19,4	19,4	20,5	16,4	19,7	15,8	10,6
	Máximo	10,9	9,7	8,7	8,1	6,9	6,2	6,7	7,0	7,7	8,7	10,1	10,3
	Mínimo	5,3	5,0	4,9	4,0	2,0	2,1	1,8	3,1	3,8	3,6	3,9	6,3
Manhã*	Média	3,9	3,5	3,1	2,7	2,4	2,0	2,2	2,3	2,5	3,0	3,7	4,1
	DP	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5
	CV	15,2	18,9	14,7	20,1	21,1	21,9	21,7	21,4	19,2	21,1	16,8	11,9
	Máximo	5,3	4,8	4,1	3,8	3,4	2,7	3,2	3,3	3,7	4,2	4,9	5,5
	Mínimo	2,6	2,3	2,3	1,7	0,7	1,0	0,7	1,3	1,5	1,6	1,7	2,9
Tarde*	Média	4,1	3,8	3,6	3,3	2,9	2,4	2,6	2,7	2,9	3,4	4,0	4,3
	DP	0,7	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,4
	CV	16,1	17,6	14,1	18,8	17,3	19,1	18,5	20,4	15,5	18,9	15,8	10,2
	Máximo	5,6	5,0	4,7	4,4	4,0	3,5	3,5	3,7	3,9	4,6	5,3	5,1
	Mínimo	2,5	2,7	2,5	2,1	1,3	1,1	1,0	1,7	1,9	1,9	2,2	3,3
Manhã 1*	Média	1,8	1,5	1,1	0,8	0,7	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,7	1,9
	DP	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
	CV	18,1	24,1	19,9	27,1	27,6	34,3	31,0	30,4	25,6	26,0	19,5	14,8
	Máximo	2,5	2,1	1,5	1,3	1,1	0,9	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5	2,8
	Mínimo	1,2	0,8	0,7	0,4	0,2	0,2	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7	1,3
Manhã 2*	Média	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2
	DP	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
	CV	14,4	16,4	14,3	18,6	20,3	19,5	19,3	19,4	17,2	18,9	15,8	10,2
	Máximo	2,8	2,7	2,6	2,6	2,3	2,0	2,2	2,1	2,3	2,4	2,5	2,7
	Mínimo	1,4	1,5	1,5	1,3	0,5	0,8	0,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5
Tarde 1*	Média	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	2,0	2,1
	DP	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	CV	14,8	16,3	12,9	17,0	16,6	17,5	17,4	19,5	15,2	17,5	16,7	11,8
	Máximo	2,7	2,6	2,7	2,7	2,5	2,5	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,6
	Mínimo	1,3	1,4	1,5	1,3	0,9	0,9	0,8	1,0	1,1	1,1	1,0	1,5
Tarde 2*	Média	2,0	1,8	1,5	1,3	1,0	0,7	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,1
	DP	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2
	CV	17,9	20,6	16,9	21,9	20,5	24,6	23,4	25,0	17,7	21,4	16,5	11,4
	Máximo	2,8	2,5	2,0	1,8	1,5	1,1	1,2	1,4	1,5	2,3	2,7	2,7
	Mínimo	1,2	1,1	0,9	0,8	0,4	0,3	0,2	0,5	0,7	0,8	1,2	1,5

\*Manhã: início do registro de brilho solar as 12 h, Tarde: das 12 h ao fim do registro, Manhã 1: início do registro de brilho solar as 9 h, Manhã 2: das 9 as 12 h, Tarde 1: das 12 h as 15 h e Tarde 2: das 15 h ao fim de registro do brilho solar.

Tabela 4 – Média mensal de brilho solar ( $h d^{-1}$ ), desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV) (%), máximo e mínimo valores absolutos de brilho solar médio mensal diário e nos períodos do dia manhã, tarde, manhã 1 e manhã 2 e tarde 1 e tarde 2 em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

Estações do ano	Estatísticas	Períodos						
		Diário	Manhã	Tarde	Manhã 1	Manhã 2	Tarde 1	Tarde 2
Verão	Média	7,9	3,9	4,1	1,7	2,1	2,1	2,0
	DP	0,8	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2
	CV	9,5	9,5	9,0	11,6	8,9	9,1	10,5
	Máximo	9,2	4,6	4,7	2,1	2,5	2,4	2,4
	Mínimo	5,7	2,6	3,1	1,2	1,5	1,6	1,5
Outono	Média	6,0	2,7	3,3	0,9	1,9	2,0	1,3
	DP	0,7	0,4	0,4	0,1	0,2	0,2	0,2
	CV	11,9	13,0	11,6	16,4	12,5	11,0	14,0
	Máximo	7,5	3,5	4,1	1,1	2,4	2,5	1,6
	Mínimo	4,4	1,9	2,4	0,6	1,3	1,5	0,9
Inverno	Média	4,7	2,2	2,6	0,6	1,6	1,7	0,8
	DP	0,6	0,3	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1
	CV	13,5	14,3	13,5	20,7	12,8	12,4	17,2
	Máximo	6,0	2,8	3,2	0,8	2,0	2,1	1,1
	Mínimo	3,1	1,4	1,6	0,3	1,1	1,2	0,5
Primavera	Média	6,5	3,1	3,4	1,2	1,8	1,8	1,6
	DP	0,7	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2
	CV	10,7	11,5	11,4	14,0	10,4	11,2	12,6
	Máximo	8,1	3,8	4,3	1,7	2,2	2,3	2,0
	Mínimo	5,0	2,2	2,7	0,8	1,4	1,4	1,2

\*Manhã: início do registro de brilho solar as 12 h, Tarde: das 12 h ao fim do registro, Manhã1: início do registro de brilho solar as 9 h, Manhã 2: das 9 as 12 h, Tarde 1: das 12 h as 15 h e Tarde 2: das 15 h ao fim de registro do brilho solar.

As maiores médias mensais de brilho solar diário e nos diferentes períodos do dia ocorrem no verão e na primavera (Tabela 4). A variabilidade da série de brilho solar é maior nos meses de inverno em todos os períodos do dia, o que também foi observado por Machado (1950) para o período de 1912 a 1942, devido maior frequência de ocorrência de nebulosidade e nevoeiro, característicos dessa estação do ano nessa região (MACHADO, 1950; MORENO 1961).

Na análise temporal da série de brilho solar diário, o teste Run indicou autocorrelação apenas na série do mês de dezembro, onde foi aplicado o teste de Mann-Kendall Modificado. O teste de Mann - Kendall indicou tendências significativas e decrescentes (negativas) apenas para o mês de outubro e o teste de Pettitt também encontrou tendência significativa no mês de outubro indicando uma mudança brusca no ano de 1989 (Tabela 5).

No período da manhã, o brilho solar é uma série homogênea pelo teste Run em todos os meses. Porém o teste de Mann-Kendall indicou uma tendência de decréscimo no brilho solar para o mês de junho e outubro na série de brilho solar e o teste de Pettitt confirma uma

mudança brusca na série, no ano de 1996 para o mês de junho e em 1989 para o mês de outubro nesse período do dia (Tabela 5). Por outro lado, para o período da tarde pelo teste Run encontrou-se autocorrelação nas séries de brilho solar nos meses de março e abril pelo teste Run, e o teste de Mann-Kendall indicou tendência significativa decrescente na série de brilho solar no mês de outubro (Tabela 5).

Quando o período da manhã foi dividido em dois, manhã 1 e manhã 2, no período manhã 1 as séries de brilho solar foi homogêneas e apresentaram tendências significativas decrescentes pelo teste de Mann-Kendall nos meses de junho e novembro. Porém o teste de Pettitt apontou uma mudança brusca na série apenas no mês de junho no ano de 1996 (Tabela 5). Para o período manhã 2, o teste de Mann-Kendall indicou tendência decrescente significativa para a série de brilho solar no mês de junho. O teste Run indicou autocorrelação na série do mês de outubro. Por isso aplicou-se o Mann-Kendall modificado, o qual indicou tendência decrescente significativa e o teste de Pettitt indicou mudança na série no ano de 1989 para o mês de outubro (Tabela 5).

O período tarde 1 apresentou séries de brilho solar homogêneas, apenas nos meses de abril e setembro o teste Run identificou autocorrelação, portanto nesses meses as séries são heterogêneas. O teste Mann-Kendall identificou uma tendência significativa decrescente apenas para a série do mês de outubro e o teste de Pettitt identificou também uma mudança na série no mesmo mês no ano de 1989 (Tabela 5). Para o período tarde 2, as séries de abril e julho apresentaram autocorrelação e apenas a série do mês de maio apresentou tendências significativas decrescentes de acordo com o teste de Mann-Kendall (Tabela 5).

Nas séries de brilho solar nas estações do ano nos diferentes períodos do dia, a série de brilho solar na primavera no período manhã 1 foi a única que apresentou autocorrelação, determinando assim que as demais séries são homogêneas. A primavera é a única estação do ano a apresentar tendências significativas decrescente em todos os períodos do dia de acordo com o teste de Mann-Kendall e o teste de Pettitt. A série no outono apresentou decréscimo significativo na tendência apenas no último período do dia, o tarde 2 (Tabela 6).

Tabela 5 – Teste de Sequência ou Teste Run ( $Z$ ), Teste Mann-Kendall ( $\tau$ ), o Teste Pettitt ( $K$ ) e suas probabilidades aplicados à série histórica de brilho solar mensal diário e para diferentes períodos do dia em Santa Maria, RS, no período de 1968 a 2010.

Meses	Testes	Períodos						
		Diário	Manhã <sup>1</sup>	Tarde <sup>1</sup>	Manhã 1 <sup>1</sup>	Manhã 2 <sup>1</sup>	Tarde 1 <sup>1</sup>	Tarde 2 <sup>1</sup>
Janeiro	Run	0,001	0,156	0,000	0,218	-0,156	0,646	0,000
	MK	-0,01	-0,08	-0,005	-0,15	-0,01	0,01	0,02
	Pettitt	69	118	75	157	87	87	65
Fevereiro	Run	-0,781	0,156	-0,156	-0,413	-0,728	-1,213	0,000
	MK	-0,05	-0,13	-0,03	-0,14	-0,10	-0,06	0,01
	Pettitt	115	174	88	164	153	121	93
Março	Run	0,849	0,533	2,051*	0,294	1,094	0,561	0,849
	MK	-0,01	-0,17	-0,17	0,02	0,01	0,03	-0,04
	Pettitt	87	96	130	69	119	76	90
Abril	Run	-0,434	0,000	2,031*	0,085	-0,342	-2,031*	-2,021*
	MK	-0,12	-0,14	-0,10	-0,16	-0,14	-0,12	-0,04
	Pettitt	196	156	228	146	150	196	270
Maio	Run	-0,001	-0,469	0,734	0,201	0,085	-0,142	0,085
	MK	-0,13	-0,09	-0,12	-0,14	-0,06	-0,04	-0,11*
	Pettitt	140	108	150	116	108	118	198
Junho	Run	-1,044	-1,394	0,085	0,073	-1,406	0,615	0,000
	MK	-0,19	-0,23*	-0,13	-0,26*	-0,23*	-0,08	-0,26
	Pettitt	190	198*	121	212*	175	108	165
Julho	Run	-1,541	-1,519	-1,519	-0,848	1,406	-1,541	-2,040*
	MK	-0,07	-0,03	-0,11	0,01	-0,04	-0,13	-0,16
	Pettitt	118	100	160	104	106	160	144
Agosto	Run	0,001	0,000	0,343	-1,088	0,352	0,000	0,000
	MK	0,54	0,03	-0,07	0,03	0,05	0,14	-0,07
	Pettitt	168	158	168	166	192	214	128
Setembro	Run	1,343	0,000	1,548	-1,338	0,963	1,969*	0,312
	MK	0,15	-0,08	-0,17	0,01	-0,12	-0,20	-0,03
	Pettitt	180	154	187	121	156	182	183
Outubro	Run	-0,898	-1,541	-0,222	-0,923	-2,675*	-0,137	-0,848
	MK	-0,27*	-0,25*	-0,22*	-0,17	-0,33*	-0,25*	-0,18
	Pettitt	212*	242*	192	176	282*	218*	159
Novembro	Run	0,004	0,653	0,717	-0,588	0,717	-0,527	-0,848
	MK	-0,14	-0,21	-0,11	-0,28*	-0,10	-0,17	-0,03
	Pettitt	166	162	160	194	120	137	176
Dezembro	Run	-2,10*	-0,665	-0,848	0,000	-1,723	1,232	0,000
	MK	-0,17	-0,12	-0,11	-0,12	-0,07	-0,13	-0,07
	Pettitt	172	112	164	106	114	193	175

<sup>1</sup>Manhã: início do registro de brilho solar as 12 h, Tarde: das 12 h ao fim do registro, Manhã1: início do registro de brilho solar as 9 h, Manhã 2: das 9 as 12 h, Tarde 1: das 12 h as 15 h e Tarde 2: das 15 h ao fim de registro do brilho solar. \*Testes significativos a 5% de probabilidade.

Tabela 6 – Teste de Seqüência ou Teste Run ( $Z$ ), Teste Mann-Kendall ( $\tau$ ), o Teste Pettitt ( $K$ ) e suas probabilidades aplicados à série histórica de brilho solar médio sazonal (estações do ano) diário e para diferentes períodos do dia em Santa Maria, RS, no período de 1968 a 2010.

Estações do ano	Testes	Períodos						
		Diário	Manhã <sup>1</sup>	Tarde <sup>1</sup>	Manhã 1 <sup>1</sup>	Manhã 2 <sup>1</sup>	Tarde 1 <sup>1</sup>	Tarde 2 <sup>1</sup>
Verão	Run	-1,406	-0,64	0,000	-0,889	-0,609	-0,766	0,533
	MK	-0,183	-0,141	-0,008	-0,213*	-0,093	-0,112	0,017
	Pettitt	167	175	96	193	151	149	89
Outono	Run	-0,342	0,485	0,085	1,111	-0,413	0,734	0,000
	MK	-0,164	-0,138	-0,177	-0,140	-0,105	-0,093	-0,027*
	Pettitt	147	151	164	147	129	118	226*
Inverno	Run	-0,848	-0,728	-0,413	1,394	-1,214	0,000	0,000
	MK	-0,096	-0,073	-0,019	-0,067	-0,048	0,030	-0,083
	Pettitt	90	114	80	152	93	95	110
Primavera	Run	0,004	-0,841	0,004	-2,073*	-0,135	-0,352	0,304
	MK	-0,311*	-0,307*	-0,271*	-0,262*	-0,299*	-0,306*	-0,215*
	Pettitt	220*	224*	216*	238*	242*	244*	223*

<sup>1</sup> Manhã: início do registro de brilho solar as 12 h, Tarde: das 12 h ao fim do registro, Manhã1: início do registro de brilho solar as 9 h, Manhã 2: das 9 as 12 h, Tarde 1: das 12 h as 15 h e Tarde 2: das 15 h ao fim de registro do brilho solar.\*Testes significativos a 5% de probabilidade.

Na Figura 17 estão as séries históricas de brilho solar médio mensal diário, com a equação de regressão linear simples significativa no mês em que o teste de Mann-Kendall foi significativo. O mês de outubro apresentou um decréscimo na série de brilho solar médio mensal diário que foi de  $0,39 \text{ h dia}^{-1} \text{ década}^{-1}$  (Figura 17J).

Observa-se a variabilidade interanual na série de brilho solar médio para cada mês na Figura 17. O brilho solar médio oscilou entre um mínimo, que ocorre geralmente nos anos de El Niño, e um máximo que ocorre geralmente em ano de La Niña e Neutro. Na Figura 17A, observa-se o maior número de horas de brilho solar médio mensal diário ( $10,8 \text{ h d}^{-1}$ ) na série de 1968 a 2010, que ocorreu em um ano Neutro (1979). Observou-se também que os mínimos valores em que a série oscilou no mês de janeiro ocorreram em um ano Neutro ( $5,9 \text{ h d}^{-1}$ ) no ano de 1984 e em um ano de La Niña ( $5,3 \text{ h d}^{-1}$ ) no ano de 2001. Isso se dá porque em janeiro as chuvas são bem freqüentes na região de Santa Maria, mesmo em anos Neutros ou de La Niña. O menor valor absoluto de brilho solar médio mensal diário ocorreu no 1998 ( $5,6 \text{ h d}^{-1}$ ), devido ao El Niño de maior intensidade, com chuvas bastante intensas na Região de Santa Maria no mês de janeiro (Streck et al., 2009).

As menores médias de brilho solar ocorreram em 1983 nos meses de maio, junho e julho ( $1,9$ ,  $2,1$  e  $1,7 \text{ h d}^{-1}$ , respectivamente) (Figuras 17E, 17F e 17G). Esse ano foi marcado por um El Niño de grande intensidade, pode-se observar a influência também nos meses de

agosto e setembro (Figuras 17H e 17I). Berlato e Fontana (2003) ressaltam que o fenômeno ENOS tem um retorno, que ocorre no primeiro semestre do ano seguinte ao início do sinal do ENOS, ou seja, nesses meses em anos de El Niño as chuvas são de maior intensidade e de maior duração fazendo com que haja maior nebulosidade, diminuindo assim as horas de brilho solar. No mês de outubro de 2002 e no de novembro do ano de 2009 a média das horas de brilho solar foi baixa, pois esses dois anos também foram outros anos de El Niño de forte e moderada intensidade respectivamente (PAULA et al., 2010). Isso se deve às conseqüências de que, segundo Grimm et al. (1998), a maior influência do fenômeno ENOS na Região Sul da América do Sul nos padrões de precipitação se dá a partir da primavera e, conseqüentemente, nessa estação do ano em anos de El Niño a média de horas de brilho solar diminui.

Para confirmar a influência do fenômeno interanual na variabilidade da série de brilho solar foi aplicado a função de densidade espectral como mostra a Tabela 7. Esses ciclos que foram significativos aparecem no mês de outubro e dezembro, por ser um período em que o ENOS apresenta sinal, na primavera-verão, e nos meses de maio até julho do ano seguinte, que são geralmente os meses que o ENOS apresenta novamente sinal (ROPELEWSKI; HALPERT, 1987; GRIMM et al., 1998).

Pelo teste de Mann-Kendall para série de brilho solar médio mensal diário nas estações do ano, a primavera foi à estação em que se detectou tendência significativa de decréscimo de brilho solar em uma magnitude de  $-0,26 \text{ h d}^{-1} \text{ década}^{-1}$  (Figura 18D).

Na Figura 19 encontram-se as séries de brilho solar médio mensal do período da manhã. Pelo teste de Mann-Kendall o mês de junho apresentou tendência significativa de decréscimo no brilho solar de  $0,11 \text{ h d}^{-1} \text{ década}^{-1}$  (Figura 19F) e o mês de outubro também apresentou um decréscimo de  $0,19 \text{ h d}^{-1} \text{ década}^{-1}$  de horas de brilho solar (Figura 19J). Pela densidade espectral detectou-se os ciclos significativos para os meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio, julho, outubro e dezembro (Tabela 7). Novamente nesse período do dia, pela manhã, observa-se menores valores de brilho solar na série do mês de maio no ano de 1983, o mês de julho no ano de 1986, o mês de outubro no ano de 2003 e para o mês de novembro de 2009.

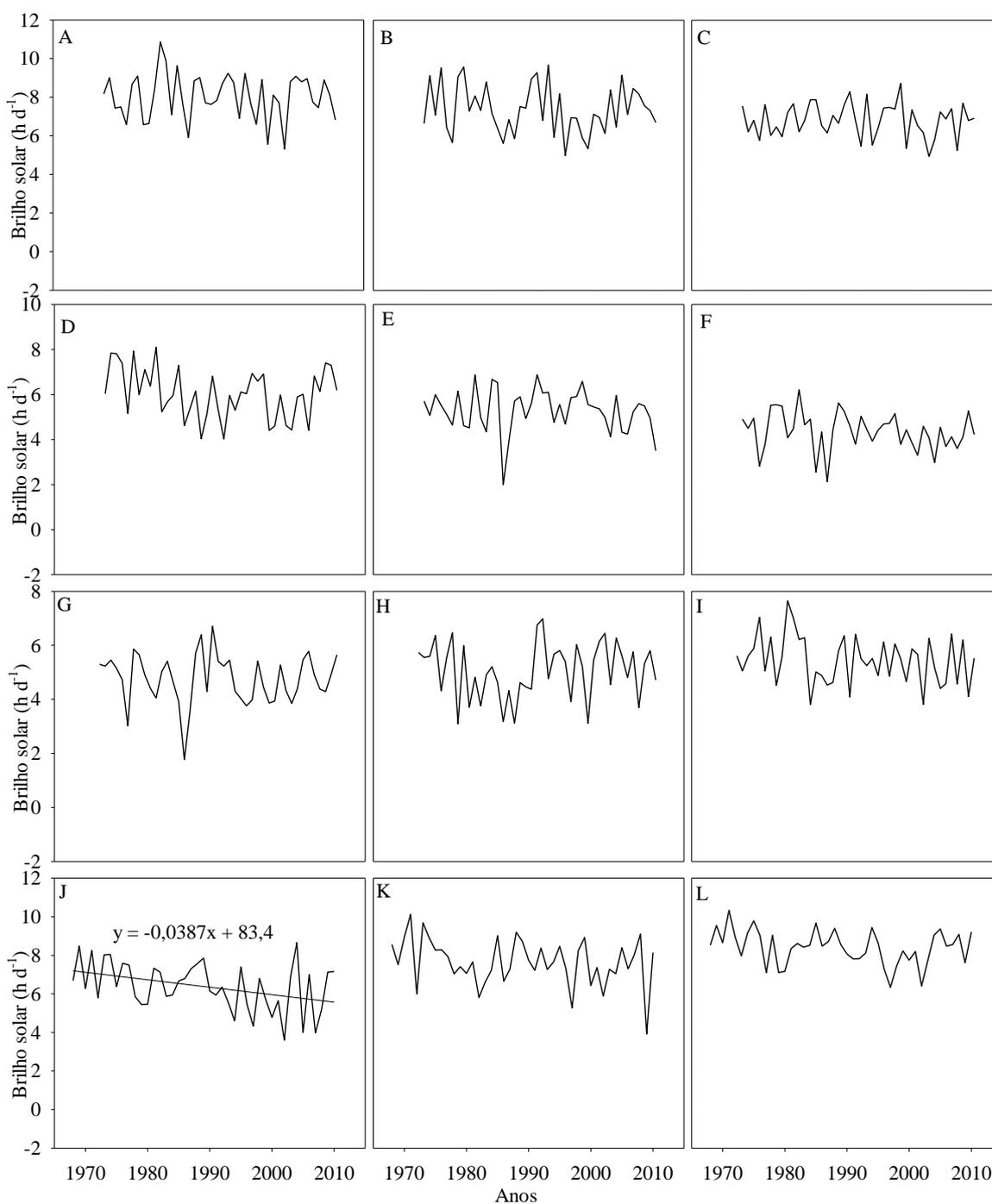


Figura 17 – Brilho solar médio mensal diário para os meses de janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

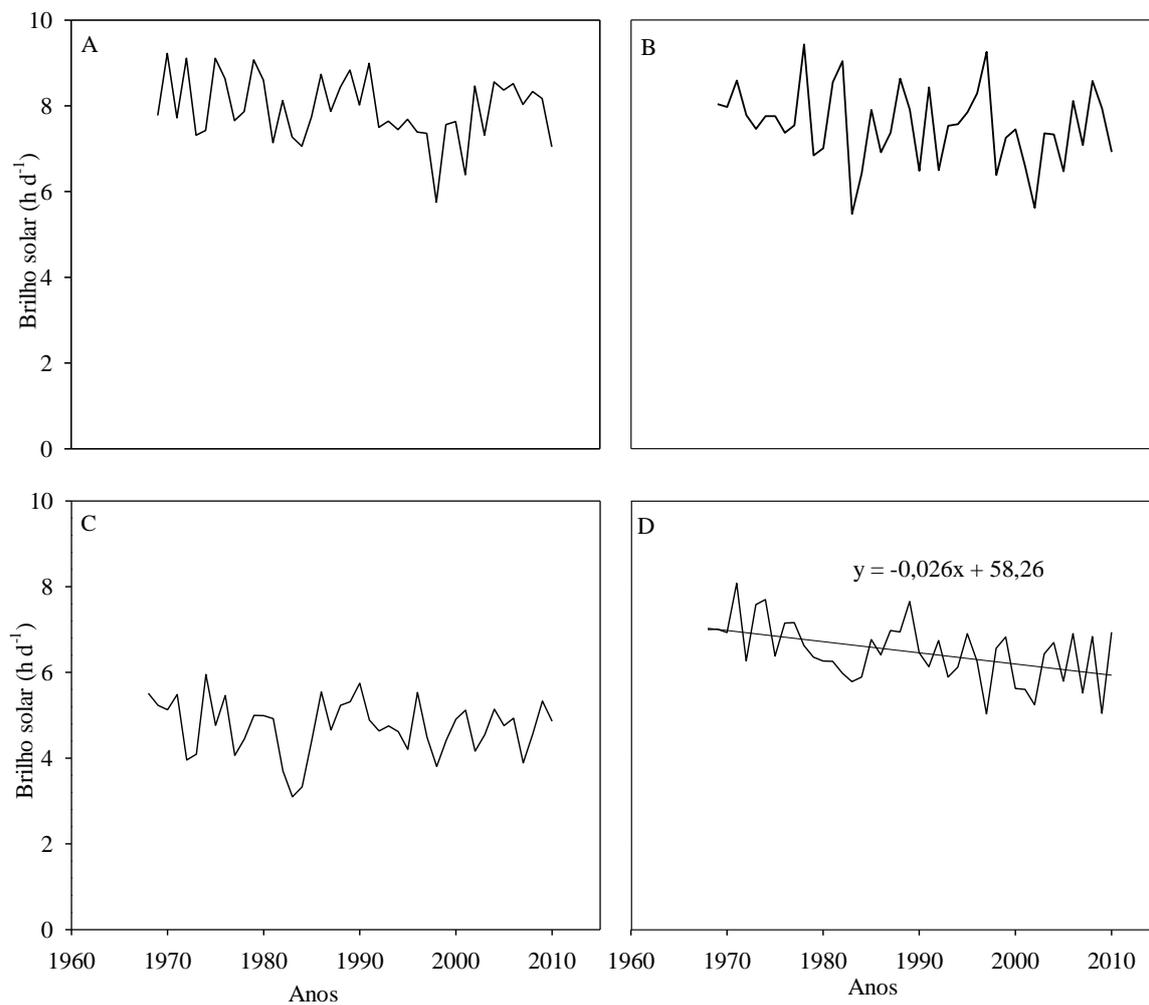


Figura 18 – Brilho solar médio mensal diário para as estações do ano verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D) em Santa Maria, RS, no período de 1968 a 2010.

Tabela 7 – Duração dos ciclos de brilho solar, significativos pelo teste qui-quadrados, estimados pela análise de densidade espectral de potencias para o “lag” de 15 anos na série histórica de brilho solar de Santa Maria, RS, para os doze meses do ano do período 1968 a 2010.

Meses	Ciclos de brilho solar (anos)						
	Diário	Manhã <sup>1</sup>	Tarde <sup>1</sup>	Manhã 1 <sup>1</sup>	Manhã 2 <sup>1</sup>	Tarde 1 <sup>1</sup>	Tarde 2 <sup>1</sup>
Janeiro	-	2,9	2,9	-	-	-	-
Fevereiro	15,0	15,0; 2,2	15,0;2,6;2,2	-	15,0	15,0	15,0
Março	-	8,6	3,0	3,0	-	-	-
Abril	-	3,5	-	3,8;3,3	-	-	3,3;3,0
Maio	4,3;3,8;3,3;3,0	3,2	3,8;3,5	3,3	3,3	3,8;3,3	3,8;3,3
Junho	-	-	-	-	-	-	2,5
Julho	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	7,5	5,0
Agosto	-	-	-	-	-	-	3,8
Setembro	-	-	-	-	7,5	-	3,3
Outubro	2,7	2,7	2,7	-	2,7	2,7	2,7
Novembro	-	-	20,0	-	-	-	30,0
Dezembro	3,3	6,0	3,3	-	6,0	3,3	2,3;15,0
Verão	-	-	15,0	-	-	-	15,0
Outono	3,3	3,3;3,0	3,3	3,8;3,3;3,0	3,3	3,8;3,3	3,3;3,0
Inverno	-	5,0	-	15,0;4,3	5,0	-	-
Primavera	-	-	-	3,3;3,0;2,7	3,3	2,7;2,5	-

Manhã: início do registro de brilho solar às 12 h, Tarde das 12 h ao fim do registro, Manhã1= início do registro de brilho solar às 9 h, Manhã 2= das 9 às 12 h, Tarde 1= das 12 h às 15 h e Tarde 2= das 15 h ao fim de registro do brilho solar.

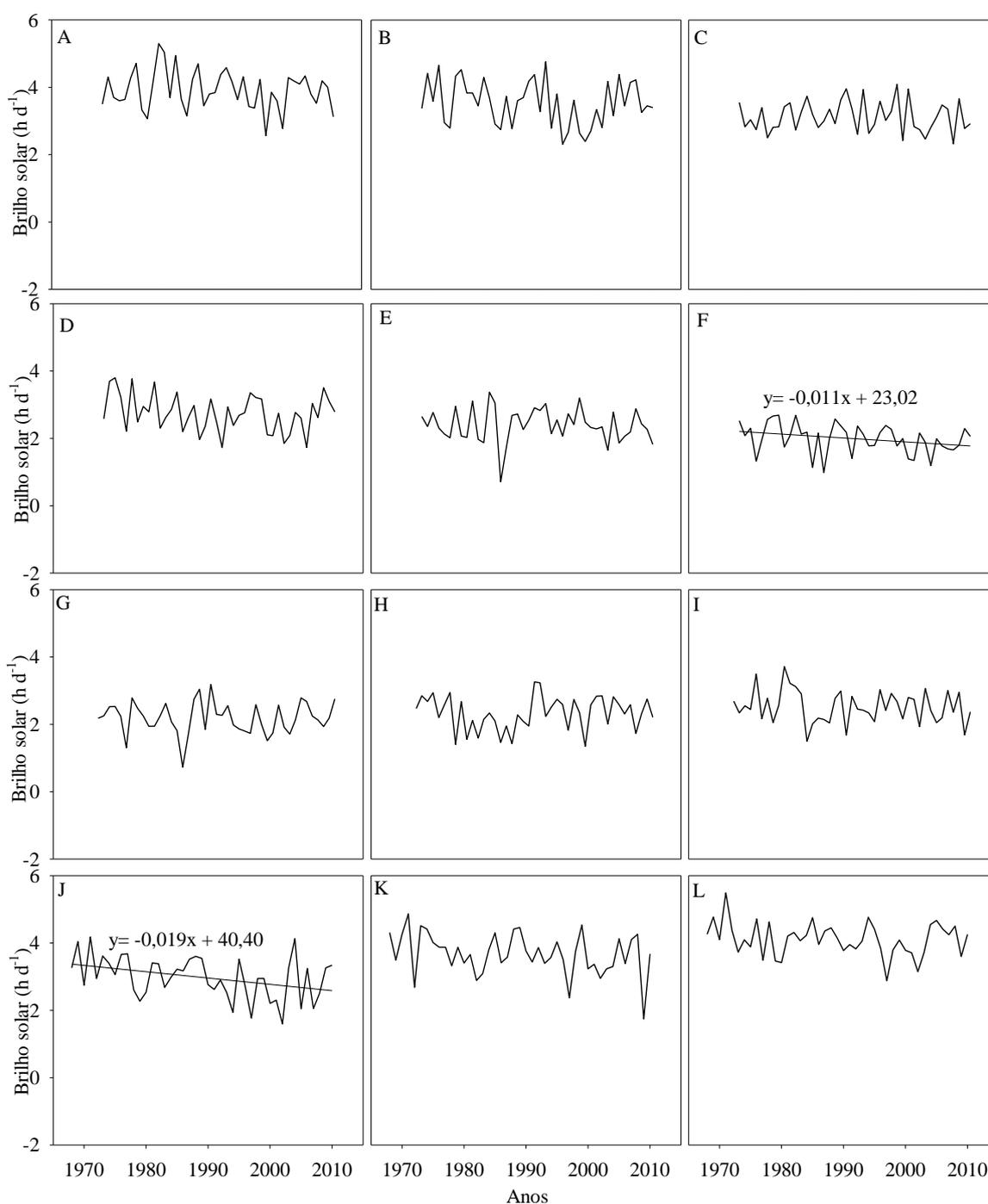


Figura 19 – Brilho solar médio mensal para o período da manhã nos meses de janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

Pelo teste de Mann-Kendall a série de brilho solar médio mensal no período da manhã na primavera é a série que apresentou tendência significativa de decréscimo de  $0,13 \text{ h d}^{-1} \text{ década}^{-1}$  (Figura 20D). Os ciclos significativos pela densidade espectral aparecem no outono e inverno (Tabela 7).

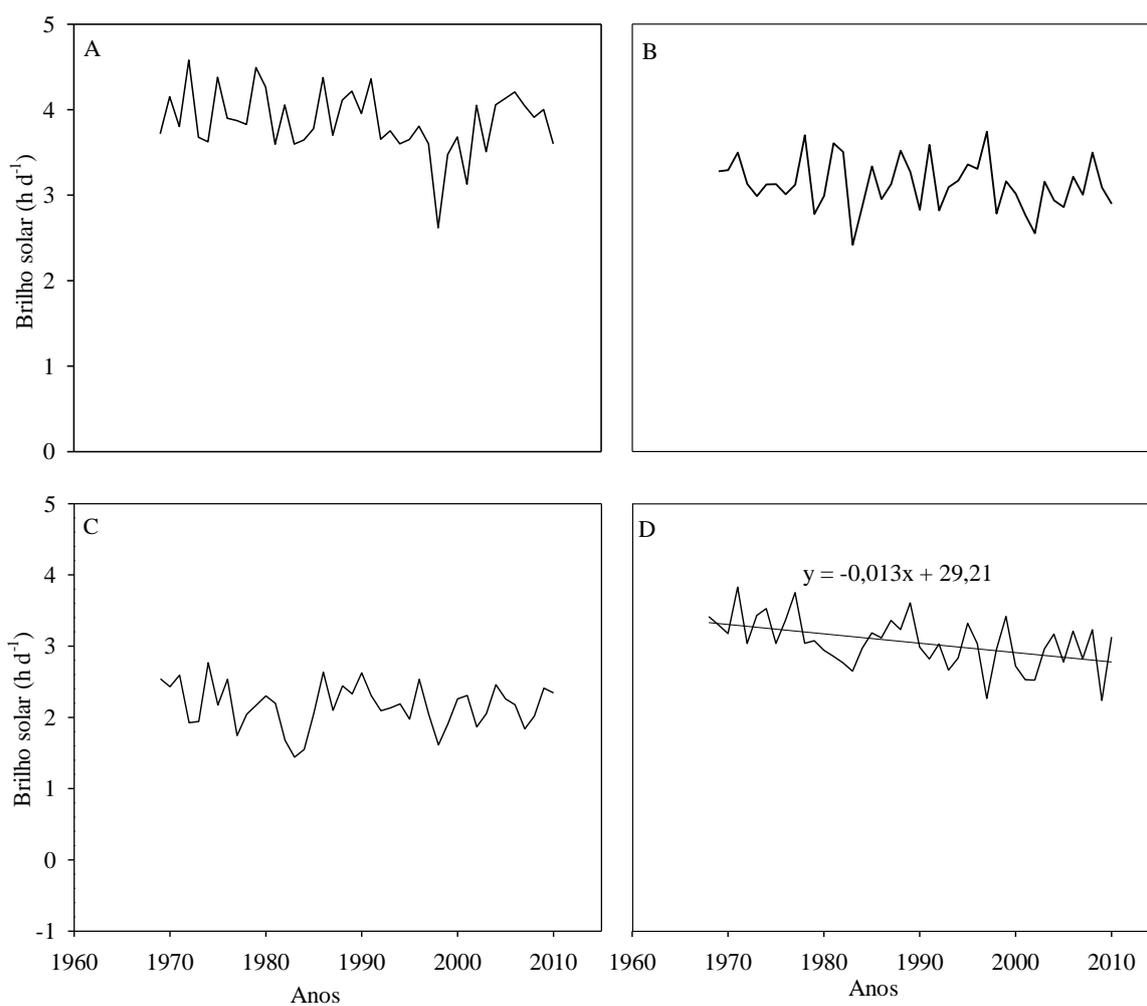


Figura 20 – Brilho solar médio mensal no período da manhã nas estações do ano verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

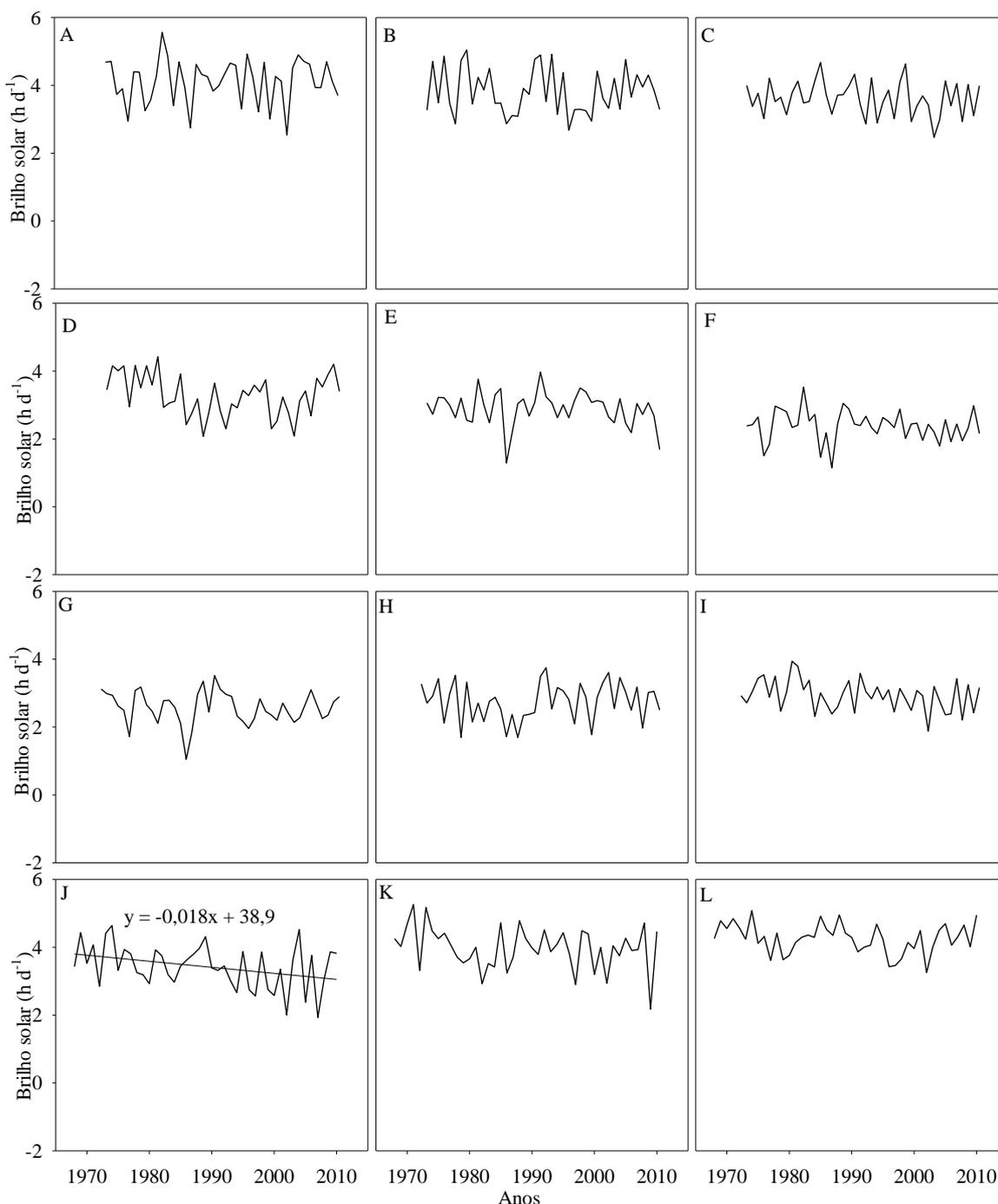


Figura 21 – Brilho solar médio mensal para o período da tarde nos meses de janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

No período da tarde o decréscimo no brilho solar também ocorreu no mês de outubro e foi de  $0,18 \text{ h d década}^{-1}$  (Figura 21J). Nesse período do dia os ciclos significativos pela densidade espectral são para os meses de janeiro, fevereiro, março, maio, julho, outubro, novembro e dezembro (Tabela 7).

A série de brilho solar no período da tarde na estação do ano, primavera, encontrou-se tendência significativa de decréscimo em uma magnitude de  $0,14 \text{ h d década}^{-1}$  (Figura 22D). Pela densidade espectral as estações do ano que tiveram ciclos significativos foram verão e outono (Tabela 7).

Na série média mensal de brilho solar do período manhã 1 a tendência significativa pelo teste de Mann-Kendall foi para o mês de junho com um decréscimo de  $0,05 \text{ h d}^{-1} \text{ década}^{-1}$  (Figura 23F) e um decréscimo de  $0,1 \text{ h d década}^{-1}$  para o mês de novembro (Figura 23K). A densidade espectral indicou ciclos significativos para os meses de março, abril, maio e julho (Tabela 7).

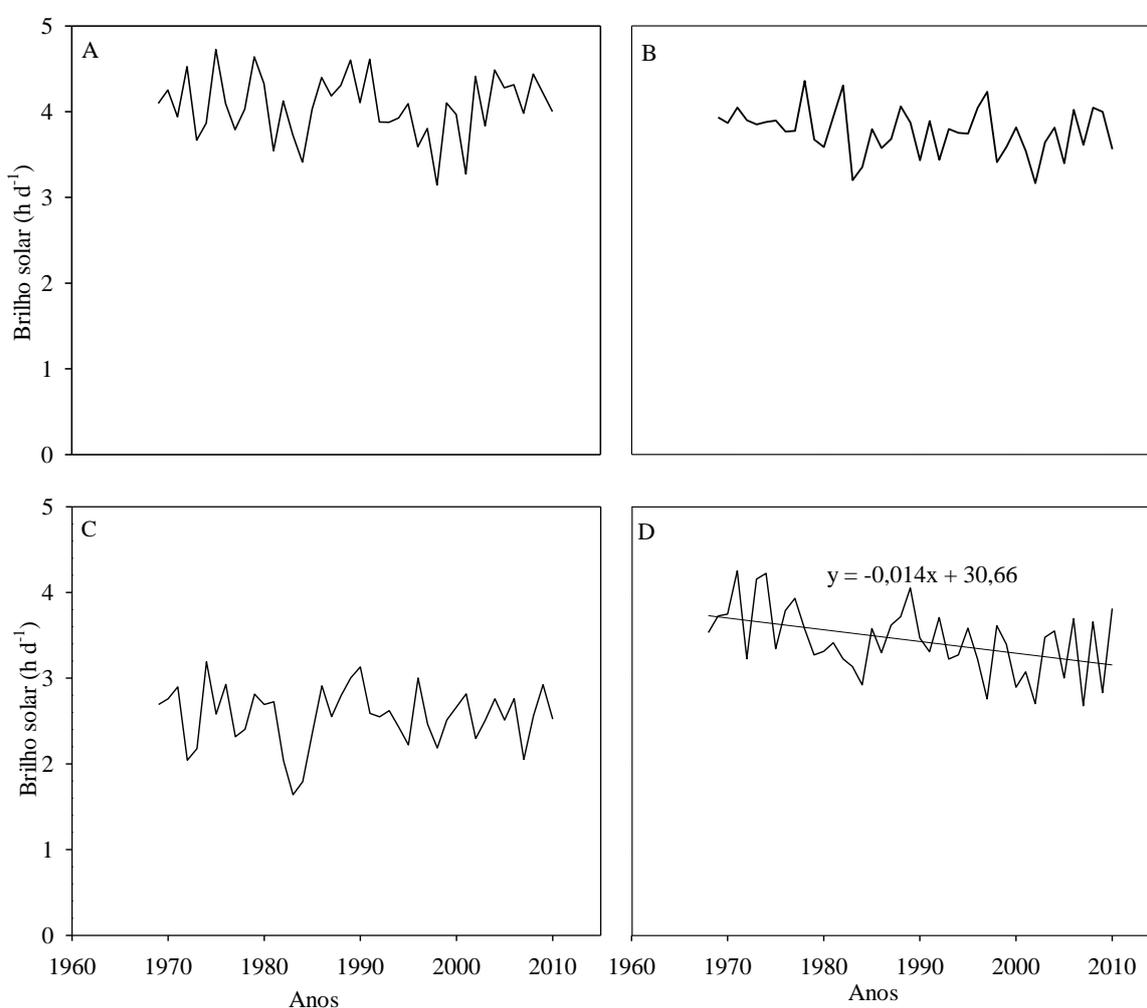


Figura 22 – Brilho solar médio mensal no período da tarde nas estações do ano verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

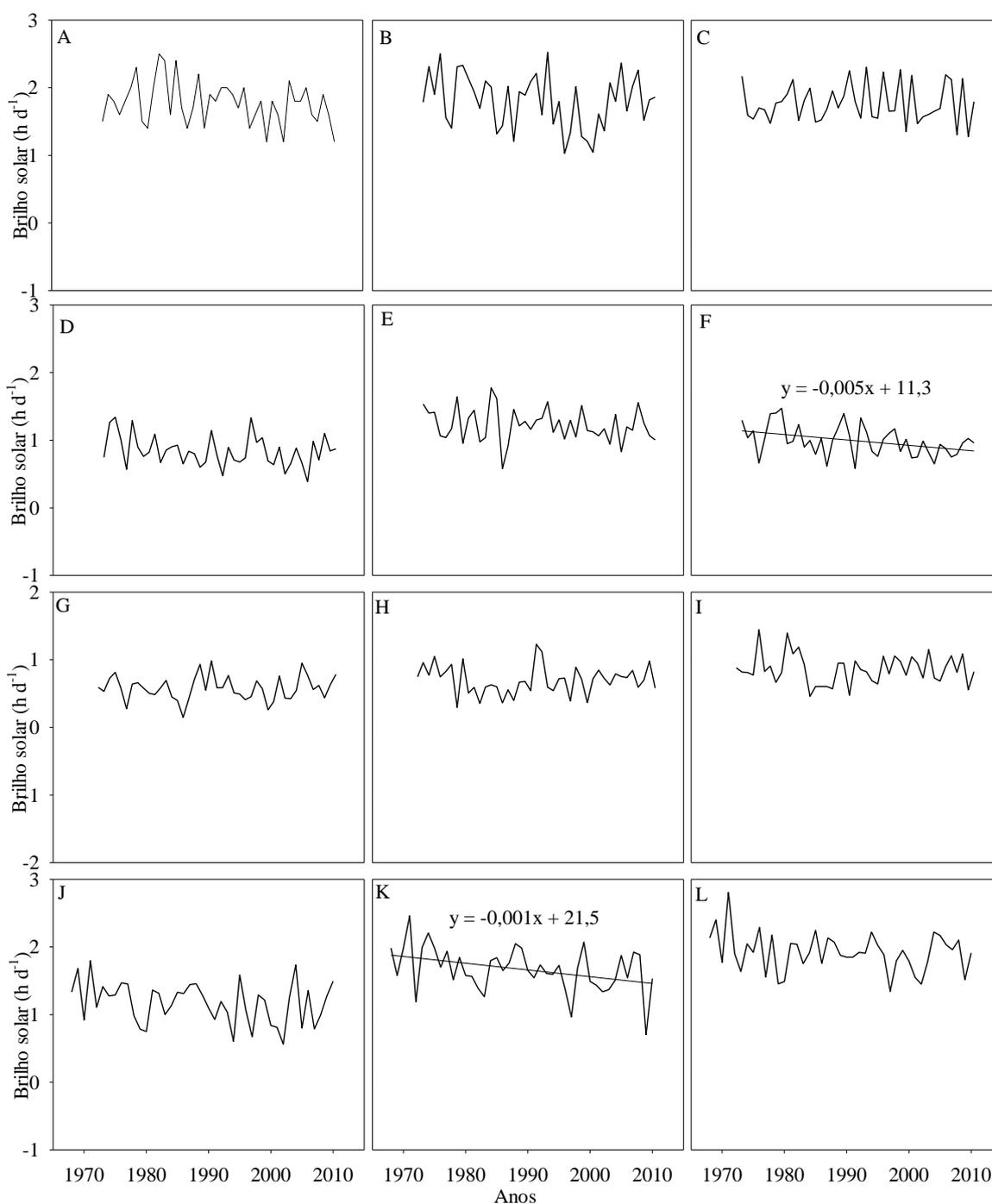


Figura 23 – Brilho solar médio mensal para o período da manhã 1 (início do registro até às 9 horas) nos meses de janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

No período do dia manhã 1, as estações do ano que apresentaram tendências significativas de decréscimo foram verão e primavera em uma magnitude de  $0,6 \text{ h d}^{-1}$  década<sup>-1</sup> (Figura 24A e 24D). Em um estudo no Rio Grande do Sul, houve tendência de aumento no verão para série de precipitação no período de 1913 a 2006 (SANSIGOLO;

KAYANO, 2009). Com esse aumento na precipitação há também o aumento do índice de nebulosidade, reduzindo as horas de brilho solar. As estações do ano que tiveram ciclos significativos pela densidade espectral foram outono, inverno e primavera (Tabela 7).

Para o período do dia manhã 2, as tendências significativas foram de decréscimo na série de brilho solar e ocorreram no mês de junho em uma magnitude de  $0,05 \text{ h d}^{-1} \text{ década}^{-1}$  (Figura 25F) e no mês de outubro foi de  $0,13 \text{ h d}^{-1} \text{ década}^{-1}$  (Figura 25J). Os ciclos significativos foram nos meses de fevereiro, maio, julho, setembro, outubro e dezembro (Tabela 7).

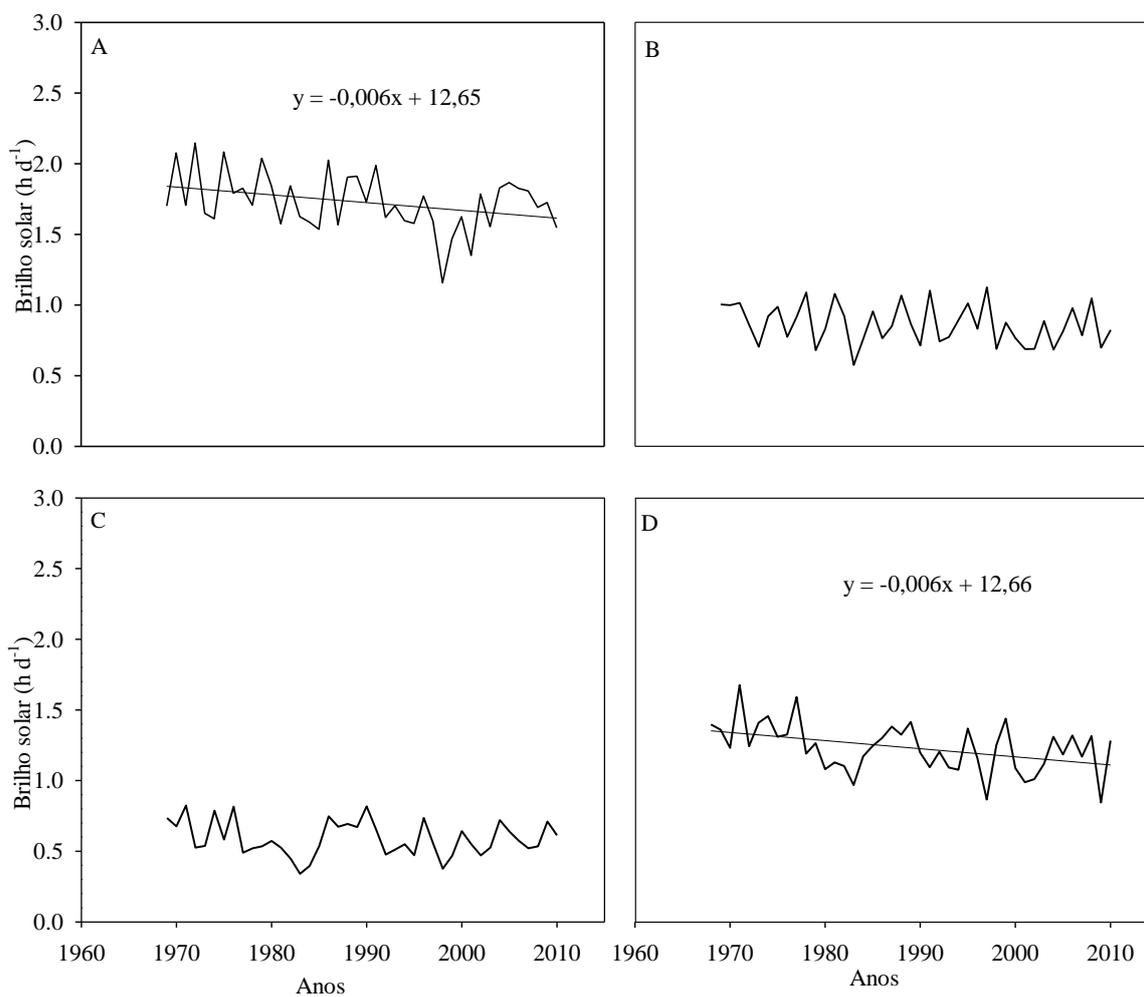


Figura 24 – Brilho solar médio mensal no período da manhã 1 (início do registro até às 9 horas) nas estações do ano verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

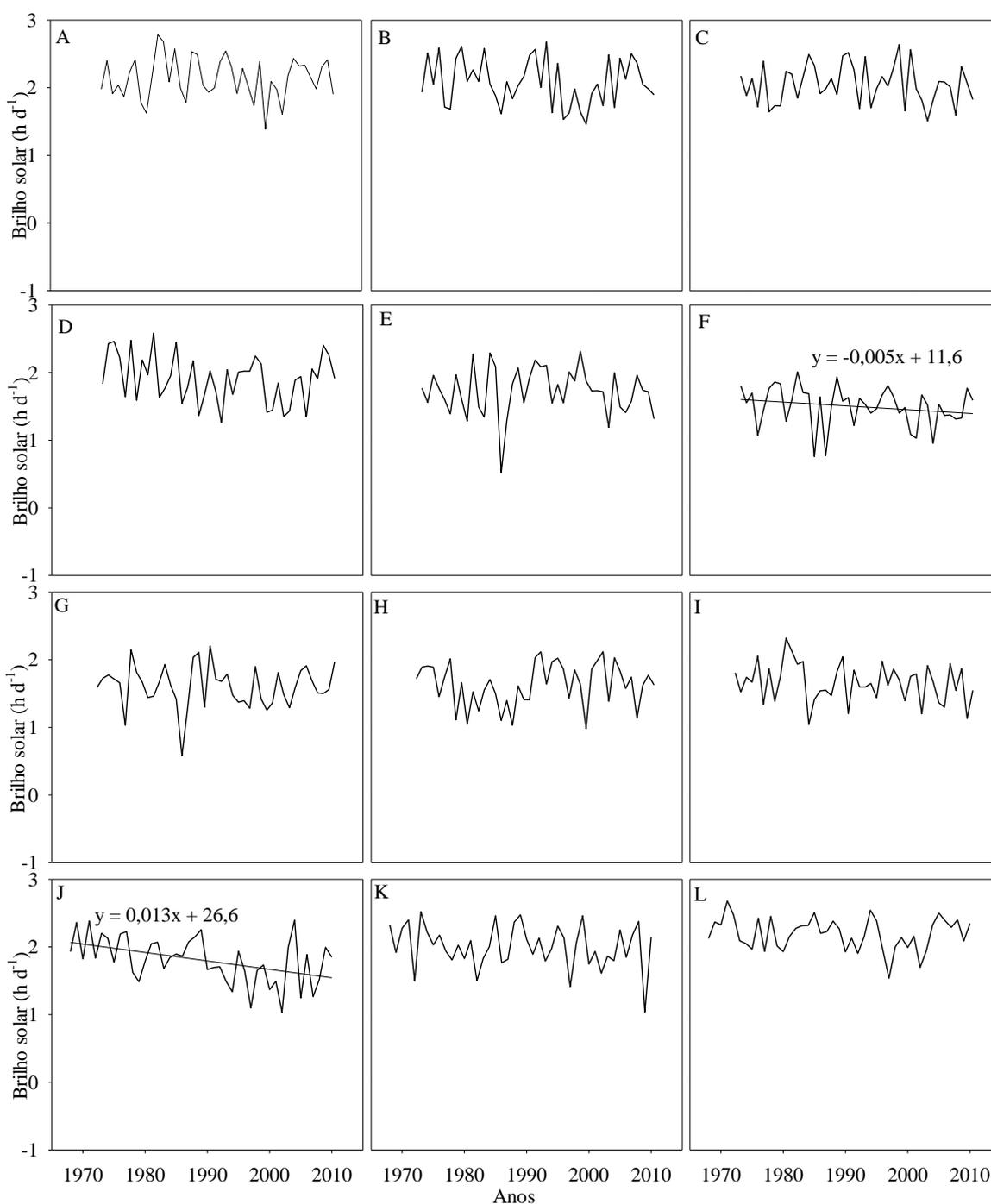


Figura 25 – Brilho solar médio mensal para o período da manhã 2 (das 9 às 12 horas) nos meses de janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

A primavera foi a estação do ano que apresentou tendências significativas no período manhã 2, sendo a magnitude de  $-0,1 \text{ h d}^{-1} \text{ década}^{-1}$  (Figura 26D).

Para a série de brilho solar no período tarde 1, a tendência significativa foi de decréscimo no mês de outubro com uma magnitude de  $0,11 \text{ h d}^{-1} \text{ década}^{-1}$  (Figura 27J). Os ciclos significativos

pela densidade espectral ocorreram para os meses de fevereiro, maio, julho, outubro e dezembro (Tabela 7). Para as séries de brilho solar nas estações do ano no período tarde 1 a tendência significativa foi de decréscimo na primavera em uma magnitude de  $0,08 \text{ h d}^{-1} \text{ década}^{-1}$  (Figura 28D).

O teste de Mann-Kendall indicou tendência significativa de decréscimo para a série de brilho solar acumulado no período tarde 2, no mês de maio com uma magnitude de  $0,05 \text{ h d}^{-1} \text{ década}^{-1}$  (Figura 29E). Os ciclos significativos pela densidade espectral foram detectados nos meses de fevereiro, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro (Tabela 7). Nas estações do ano, inverno e primavera (Figura 30C e 30 D), pelo teste de Mann-Kendall a tendência foi significativa ( $0,01$  e  $0,05 \text{ h d}^{-1} \text{ década}^{-1}$ ), respectivamente. Os ciclos significativos pela densidade espectral foram detectados no verão e outono (Tabela 7).

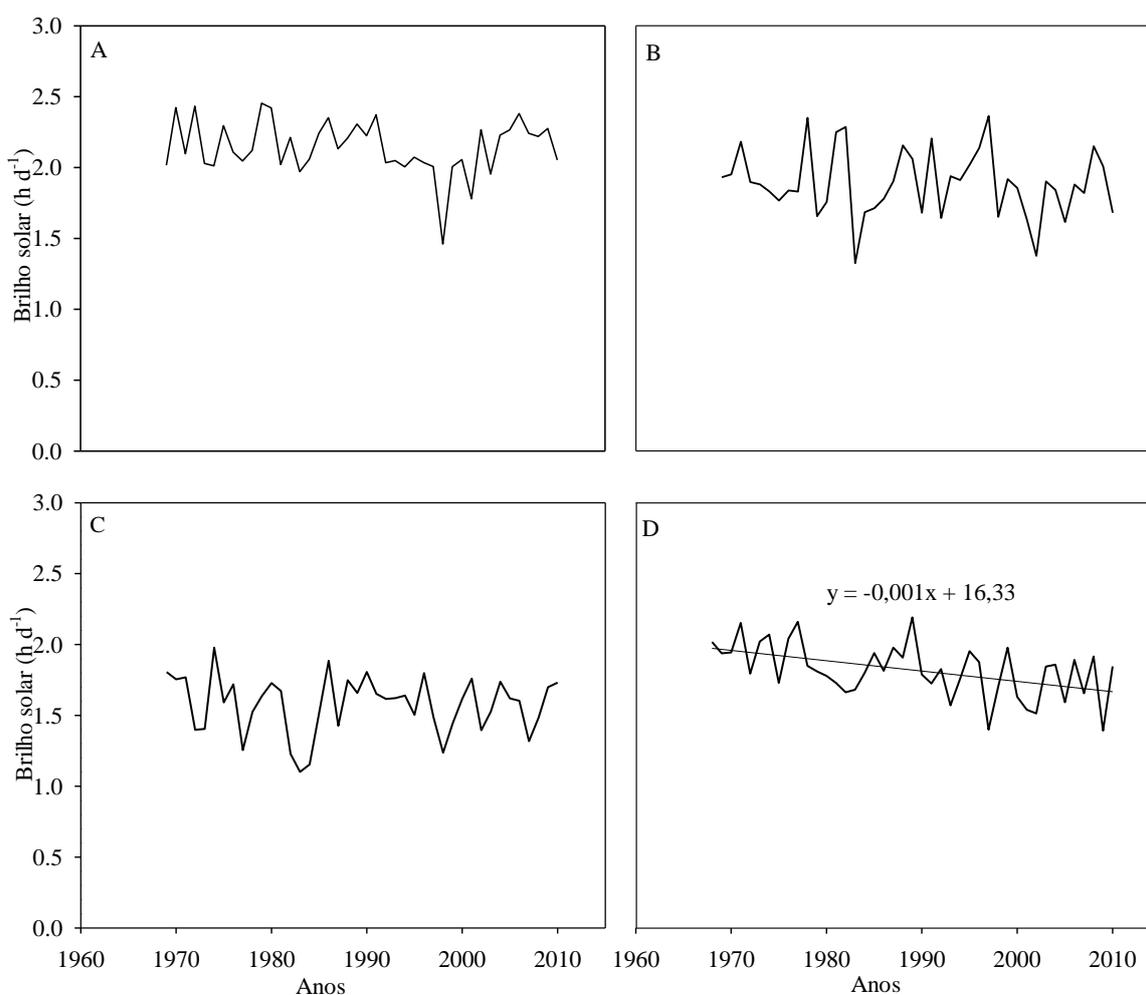


Figura 26 – Brilho solar médio mensal no período da manhã 2 (das 9 às 12 horas) nas estações do ano verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

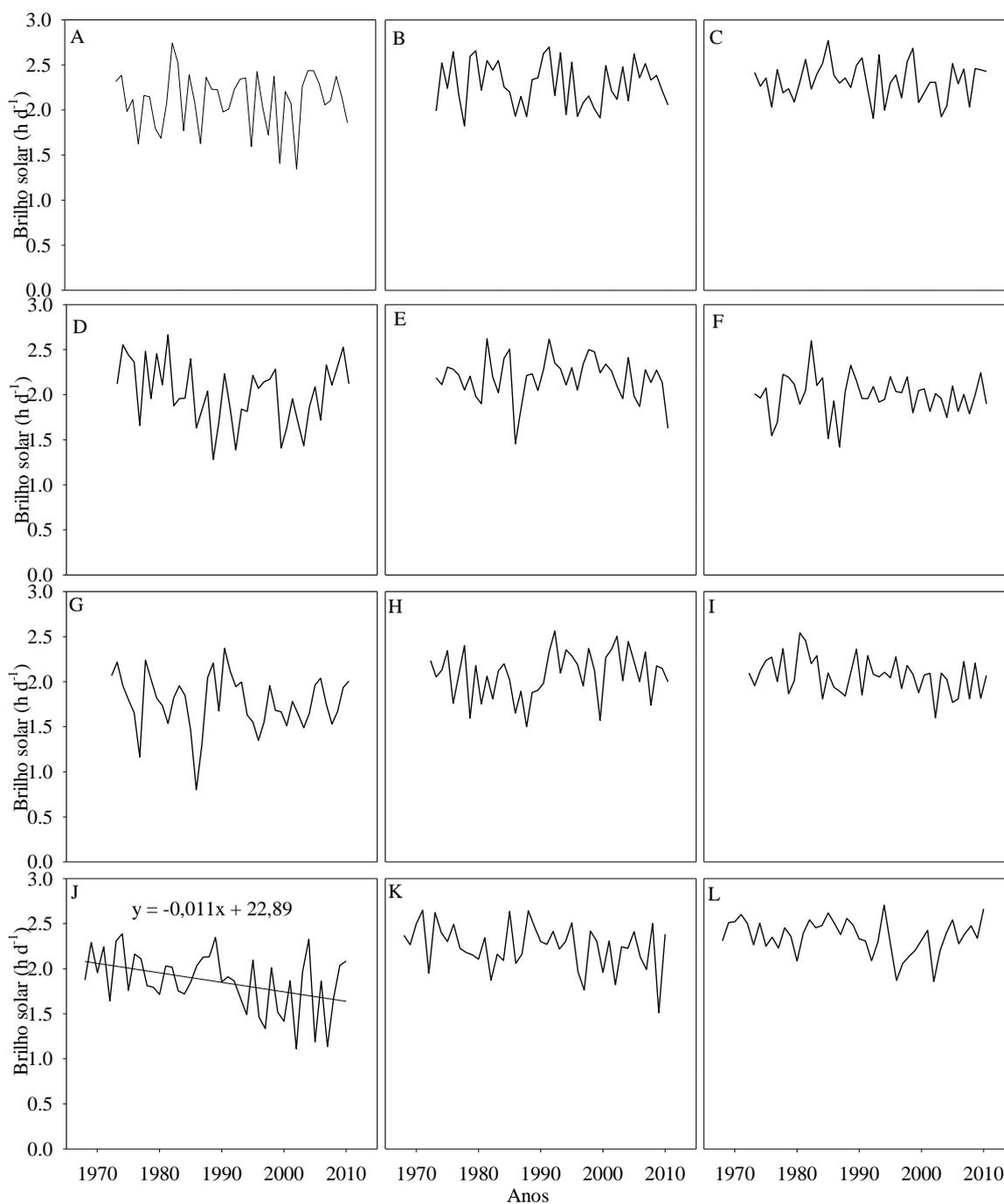


Figura 27 – Brilho solar médio mensal para o período da tarde 1 (das 12 às 15 horas) nos meses de janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

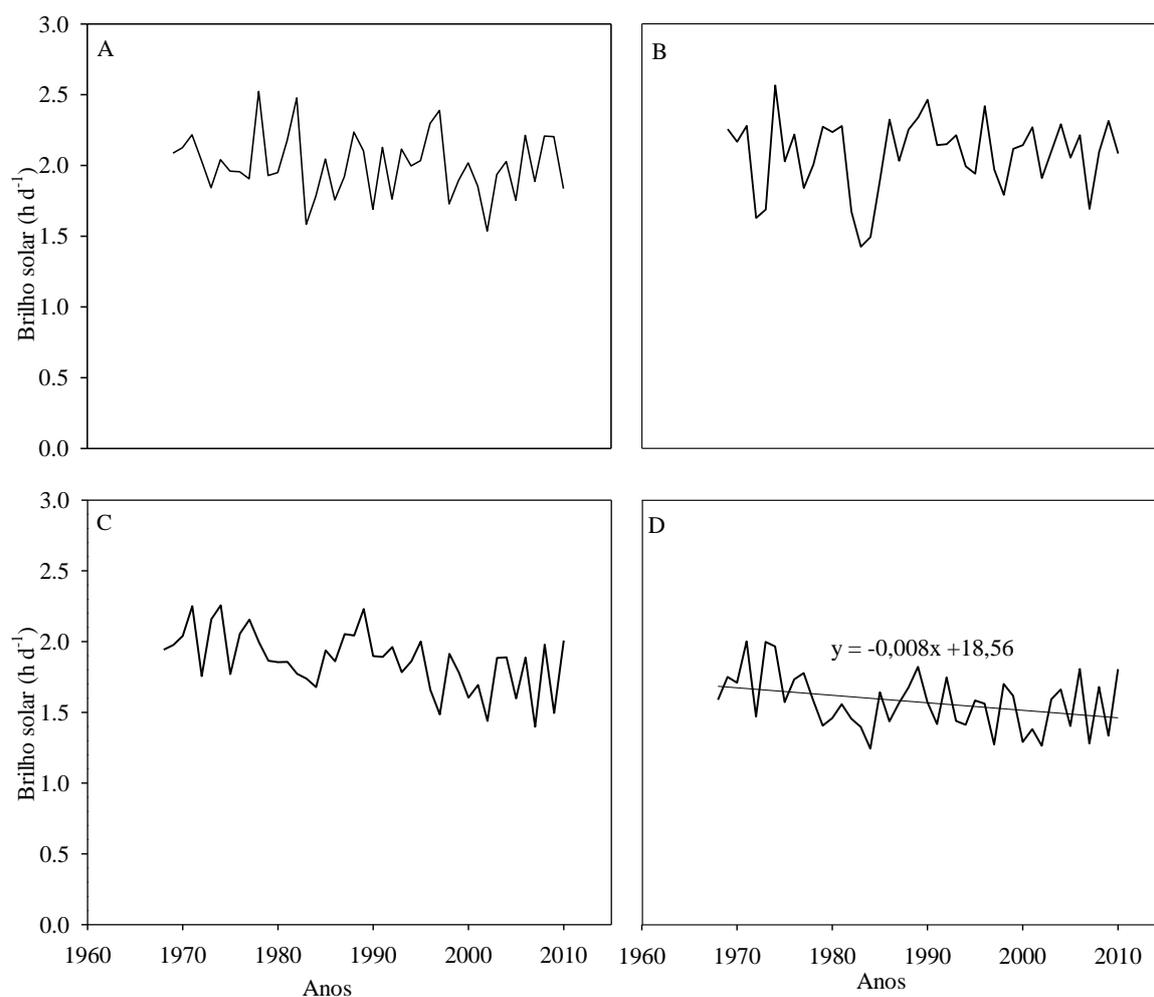


Figura 28 – Brilho solar médio mensal no período da tarde 1 (das 9 às 12 horas) nas estações do ano verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

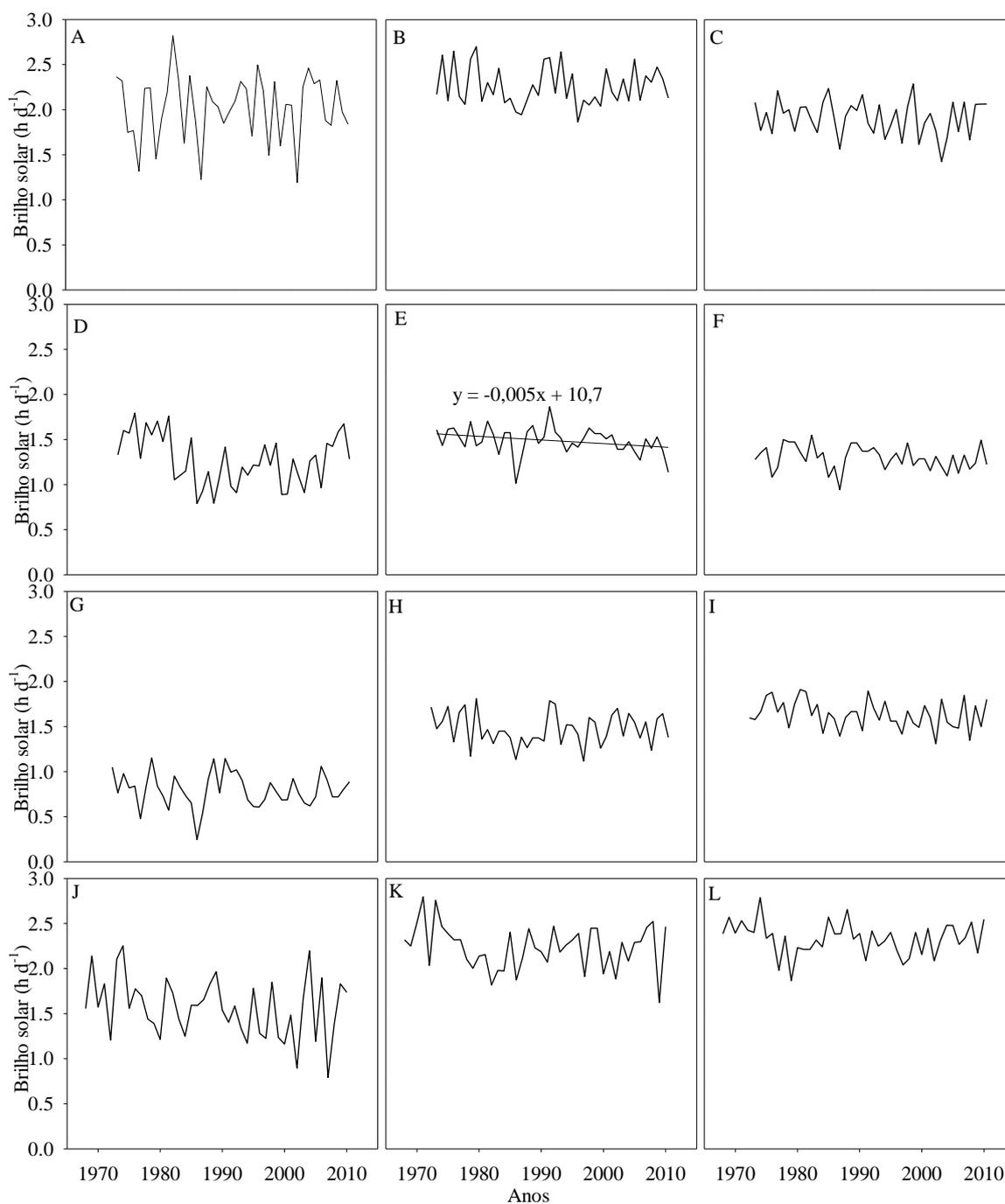


Figura 29. Brilho solar médio mensal para o período da tarde 2 (após as 15 horas) nos meses de janeiro (A), fevereiro (B), março (C), abril (D), maio (E), junho (F), julho (G), agosto (H), setembro (I), outubro (J), novembro (K) e dezembro (L) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

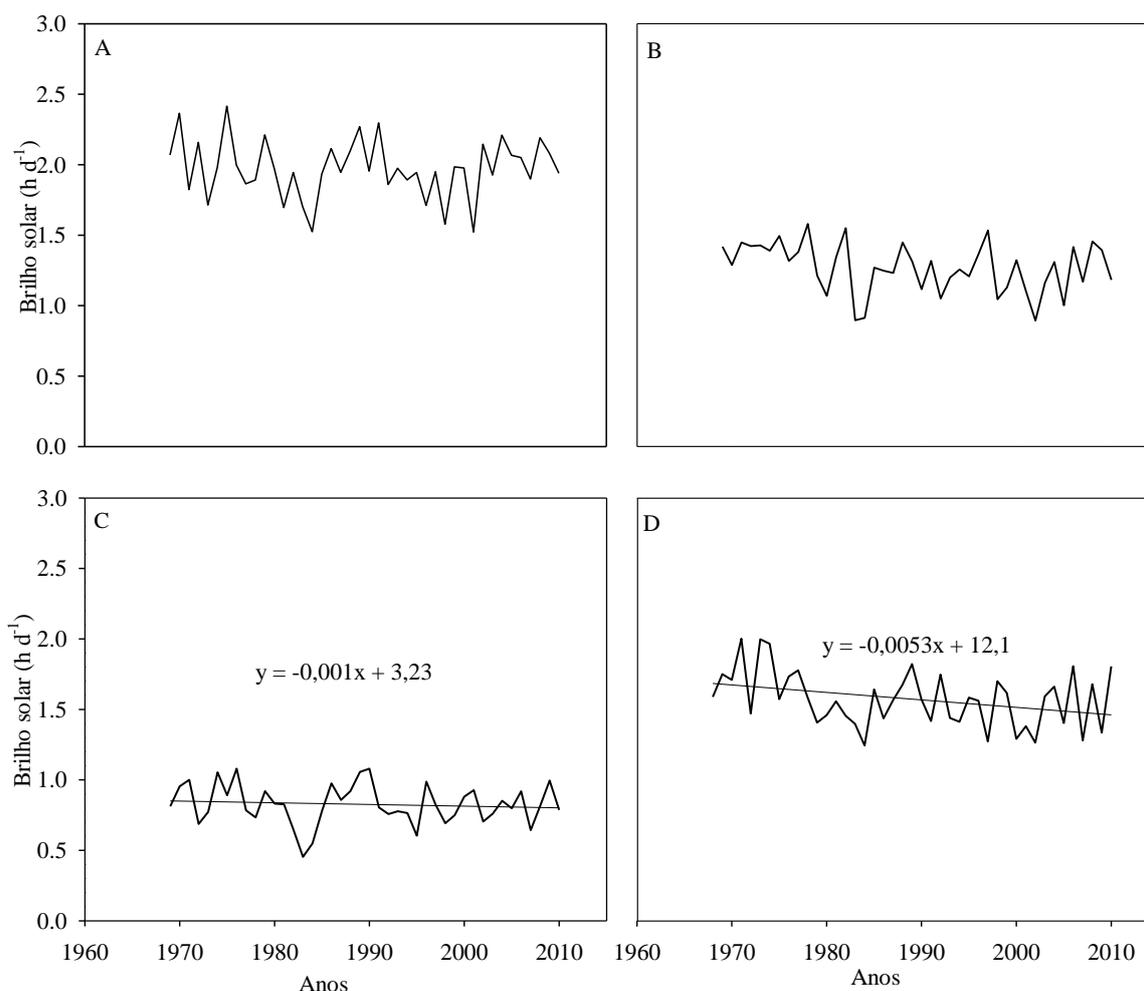


Figura 30. Brilho solar médio mensal no período da tarde 2 (após as 15 horas) nas estações do ano verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D) em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

As tendências climáticas observadas são semelhantes ao estudo feito em Minas Gerais, onde encontrou-se um decréscimo na série de dados de brilho solar mensal no período de 1961 a 2004 nos meses de maio e julho para o município de Machado, no mês de agosto para Sete Lagoas e nos meses de novembro em Uberaba (MINUZZI et al., 2010). Em outro estudo feito no Rio Grande do Sul no período de 1960 a 2005, Custódio et al., (2009) encontraram tendência significativa decrescente de brilho solar para a série anual, no outono e no verão.

Nesse estudo, outubro foi o mês em que mais se obteve tendências significativas de decréscimo nas séries de brilho solar de 1968 a 2010 nos diferentes períodos do dia. Neste mês houve decréscimo no brilho solar diário e no brilho solar acumulado dividido em duas partes do dia (manhã e tarde). Porém, quando foi dividida em quatro partes do dia (manhã 1, manhã 2, tarde 1 e tarde 2) a tendência significativa de decréscimo foi apenas para o período que compreende das 9 horas às 15 horas. O decréscimo da série de brilho solar nesse período deve-se ao aumento da média das temperaturas mínimas e máximas, o que aumentou a instabilidade atmosférica nas horas

mais quentes do dia. Nesses resultados está implícito que nevoeiros no início da manhã, chuvas convectivas e obstáculos ao lado Oeste da estação no fim da tarde não causaram decréscimo na tendência da série de brilho solar, visto que nesses períodos do dia o teste de Mann – Kendall para a maioria dos meses não foi significativo.

Os sinais do fenômeno interanual (ENOS) influenciou na variabilidade da série de brilho solar médio mensal diário e nos diferentes períodos do dia, como mostra a Figura 31.

A fase fria do ENOS, (La Niña) influencia na variabilidade da série de brilho solar médio mensal diário principalmente nos meses de outubro, novembro e dezembro (6,6, 8,3 e 8,7 h d<sup>-1</sup>). Essas médias mensais são as maiores quando comparadas com anos de fase quente (El Niño) e anos Neutros (Figura 31A).

Na Figura 31C, observa-se o maior número de horas de brilho solar para os meses de outubro, novembro e dezembro em anos de La Niña, sendo que o maior número de horas é para o período da tarde quando comparados ao da manhã. Os meses de janeiro a março têm o maior número de horas de brilho solar em anos de El Niño, tanto para o período da manhã quanto ao da tarde (Figura 31B e 31C).

Observa-se na Figura 31E, 31F e 31G, que o maior número de horas de brilho solar ocorre nos meses de novembro e dezembro em anos de La Niña e no período tarde 1, ou seja no intervalo das 12 horas às 15 horas.

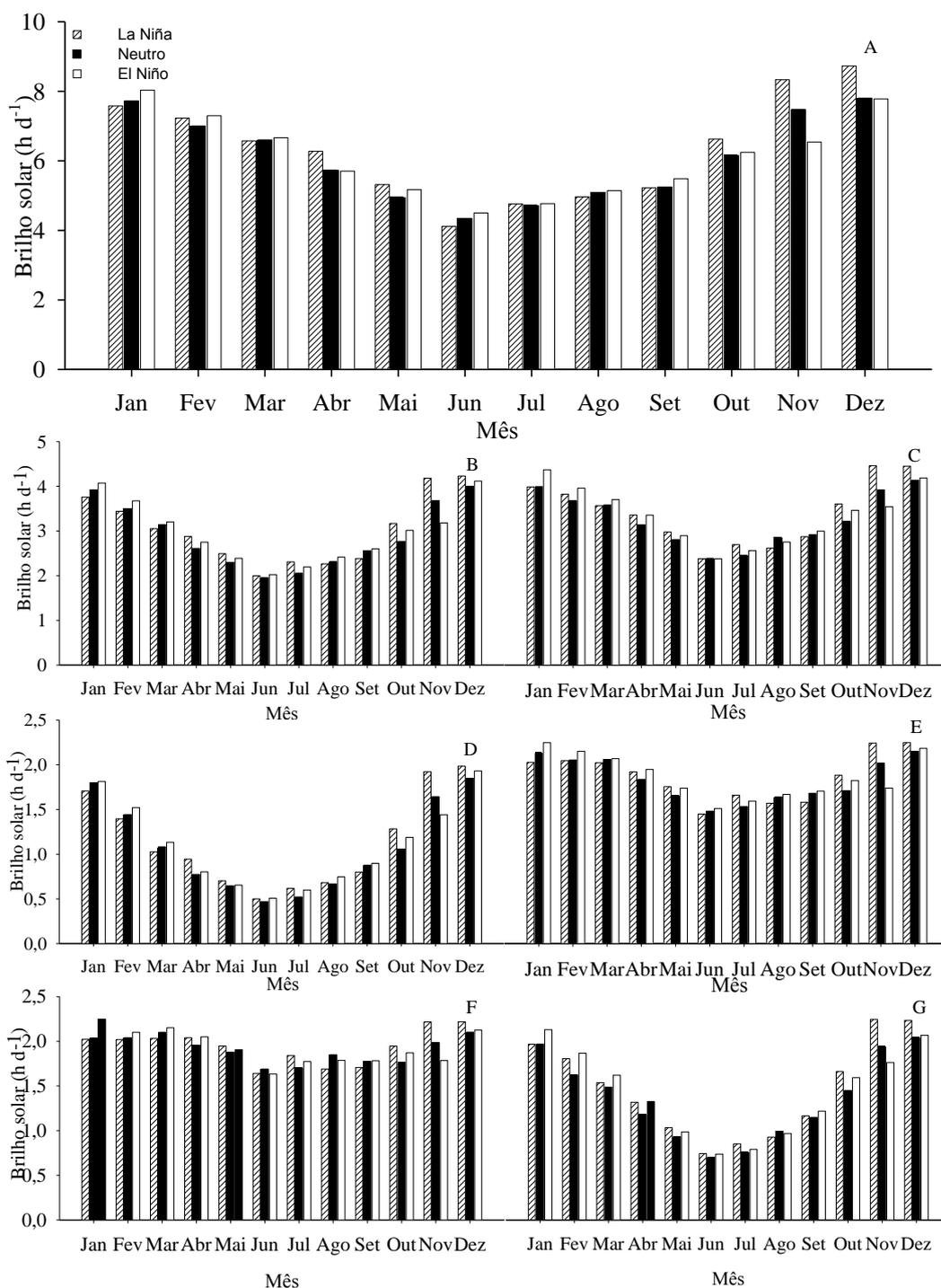


Figura 31 – Média mensal de brilho solar no período diário (A), manhã= início do registro de brilho solar as 12 h (B), tarde= das 12 h ao fim do registro do brilho solar (C), manhã1= início do registro de brilho solar as 9 h (D), manhã 2= das 9 às 12 h (E), tarde 1= das 12 h às 15 h (F) e tarde 2= das 15 h ao fim de registro do brilho solar (G) nas fases do ENOS em Santa Maria, RS, no período 1968-2010.

### **4.3 Estimativa da radiação solar global horária e para diferentes períodos do dia a partir da equação de Ångström modificada por Prescott e Penman para Santa Maria, RS.**

#### **4.3.1 Geração e avaliação dos modelos de estimativa radiação solar global (Kg)**

Na Tabela 8 e nos Apêndices A a J encontram-se os modelos de estimativa da radiação solar global horária e para diferentes sub-períodos do dia no mês de janeiro, e os respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), que variou de 0,1342 a 0,8665 e os gráficos do BIAS. Os resultados obtidos pelos modelos estimados a nível horário foram avaliados pela estatística RQME, que variou de 0,0909 a 0,5019 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> (nascer do sol às 6 h e das 11 às 12 h), enquanto que valores de BIAS variam de -0,0002 a 0,1358 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Esses resultados indicam que houve subestimativa da Rg no período do horário do nascer do sol às 6 horas e superestimando a estimativa das 18 horas ao pôr do sol, respectivamente (Tabela 8). Para os modelos estimados de 2 em 2 horas, a RQME variou 0,2563 a 0,8051 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS de -0,0089 a 0,0934 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>, subestimando nos horário das 16 horas ao pôr do sol e superestimando nos horários das 12 às 14 horas. Nos modelos estimados para manhã e tarde a RQME variou de 1,2192 a 1,6493 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS subestimou a Rg pelo modelo no período da tarde e superestimou pela manhã (-0,0886 e 0,699 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>, respectivamente). Quando os modelos estimaram a Rg para os sub períodos manhã 1, manhã 2 tarde 1 e tarde 2, o RQME variou de 0,4658 a 1,0657 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou -0,0633 e 0,0841, subestimando os valores no período do dia, tarde 2, e superestimando o período do dia, manhã 1 (Tabela 8).

Tabela 8 – Modelos de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas  $R^2$  (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de janeiro em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

Período do dia	Equação	$R^2$	RQME	BIAS
Nascer do sol às 6h	ns	ns	ns	ns
6 às 7h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3105 + 0,4298(n/N))$	0,7263	0,1612	0,0182
7 às 8h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2903 + 0,4488(n/N))$	0,7986	0,2515	0,0141
8 às 9h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2424 + 0,4788(n/N))$	0,8448	0,2927	0,0112
9 às 10h	ns	ns	ns	ns
10 às 11h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2699 + 0,4515(n/N))$	0,8044	0,4073	-0,0151
11 às 12 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2931 + 0,4138(n/N))$	0,6646	0,5019	0,0389
12 às 13 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2721 + 0,4264(n/N))$	0,7069	0,4822	0,0518
13 às 14 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2176 + 0,4553(n/N))$	0,7227	0,4411	-0,0037
14 às 15 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1822 + 0,4656(n/N))$	0,7488	0,3686	0,0681
15 às 16 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1530 + 0,4782(n/N))$	0,8665	0,3061	-0,0485
16 às 17 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1795 + 0,3929(n/N))$	0,7903	0,2033	-0,0012
17 às 18 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1416 + 0,2985(n/N))$	0,7603	0,3352	0,1358
Das 18 ao pôr do sol	ns	ns	ns	ns
Nascer do sol às 8h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2969 + 0,6/97(n/N))$	0,7777	0,4427	0,0405
8 às 10h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2660 + 0,4388(n/N))$	0,3694	0,5669	-0,0807
10 às 12h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2808 + 0,4261(n/N))$	0,6975	0,8051	-0,0293
12 às 14h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2287 + 0,4980(n/N))$	0,8392	0,7443	0,0934
14 às 16h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1676 + 0,4737(n/N))$	0,8658	0,5816	-0,1214
16 ao pôr do sol	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1601 + 0,4213(n/N))$	0,8008	0,2563	-0,0089
Manhã*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2293 + 0,6092(n/N))$	0,7715	1,6493	0,0699
Tarde*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1979 + 0,4964(n/N))$	0,9023	1,2192	-0,0886
Manhã 1*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2831 + 0,5826(n/N))$	0,8195	0,6960	0,0841
Manhã 2*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2301 + 0,4913(n/N))$	0,5513	1,0657	-0,1330
Tarde 1*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2075 + 0,4790(n/N))$	0,8726	0,9388	0,0218
Tarde 2*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1625 + 0,4725(n/N))$	0,8602	0,4658	-0,0633

\*Manhã: nascer do sol às 12 horas, Tarde: das 12 horas ao pôr do sol, Manhã 1: nascer do sol às 9 horas, Manhã 2: das 9 às 12 horas, Tarde 1: das 12 às 15 horas e Tarde 2: das 15 horas ao pôr do sol.  $K_{\downarrow}$ = radiação solar global ( $MJ m^{-2} h^{-1}$ ),  $K_{0\downarrow}$ = radiação solar no topo da atmosfera ( $MJ m^{-2} h^{-1}$ ), n= brilho solar (h), N= comprimento do dia (h). ns = equação não foi significativa pelo teste F da regressão.

Na Tabela 9 e nos Apêndices de K a T encontram-se os modelos de estimativa da radiação solar global horária  $R_g$  e para diferentes sub-períodos do dia para o mês de fevereiro. O RQME variou de 0,0144 (das 18 horas ao pôr do sol) a 0,7836  $MJ h^{-1} m^{-2}$  (das 11 às 12 horas) e enquanto o BIAS variou de -0,3599 a 0,0166  $MJ h^{-1} m^{-2}$ , subestimando a  $R_g$  no horário das 11 às 12 horas e superestimando-a das 14 às 15 horas, respectivamente (Tabela 9). Para os modelos de estimativas da  $R_g$  de 2 em 2 horas, a RMSE variou 0,1952 a

1,9824 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS -1,9110 a -0,0252 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>, subestimando a Rg em todos os intervalos do dia de 2 em 2 horas.

A estimativa da Rg pelos modelos para os sub-períodos manhã e tarde a RQME variou de 1,1321 a 4,5905 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS subestimou a Rg no período da manhã e da tarde (-3,022 e -0,0191 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>). Nas estimativas para os sub-períodos manhã 1, manhã 2 e tarde 1 e tarde 2, a RMSE variou de 0,3552 a 3,0092 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS -1,9110 a 0,7032 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>, subestimando a Rg pelo modelos no sub-períodos do dia, manhã 2, e superestimando a Rg no sub- período do dia, manhã 1 (Tabela 9).

Na Tabela 10 e nos Apêndices U a AD, encontram-se os modelos de estimativa da radiação solar global horária (Rg) e para diferentes sub-períodos do dia no mês de março. O RQME variou de 0,0468 a 0,4454 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> (das 17 às 18 horas) e o BIAS variou de -0,1137 a 0,172 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>, mostrando que houve subestimativa da Rg pelo modelo no horário do nascer do sol às 6 horas e superestimativa da Rg no horário das 10 as 11 horas, respectivamente (Tabela 10). Para os modelos estimados de 2 em 2 horas, a RQME variou -0,0475 a 0,7362 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS -0,0064 a 0,1517 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Assim pode se afirmar que ocorreu subestimativa da Rg pelo modelo nos horário das 16 horas ao pôr do sol e superestimativa pelo modelo nos horários das 12 às 14 horas. A RQME variou de 1,1860 a 1,3214 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS (0,3285 e 0,3828 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>) nos sub-períodos manhã e tarde indicando superestimativa da Rg. E quando as estimativa da Rg foi pelos modelos nos períodos manhã 1, manhã 2, tarde 1 e tarde 2, a RQME variou de 0,3347 a 0,9648 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou 0,0839 e 0,3732 superestimando a K<sub>↓</sub> nos períodos do dia, tarde 2 e manhã 2 (Tabela 10).

Na Tabela 11 e nos Apêndices de AE a AN, encontram-se os modelos de estimativa da radiação solar global horária (Rg) e para diferentes sub-períodos do dia no mês de abril. As estimativas da Rg pelos modelos em nível horário foram avaliados pelo RQME que variou de 0,0058 a 0,3588 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou de -0,0001 a -1,0648 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>, subestimando a Rg pelos modelos em todos os horários do dia (Tabela 11). Para as estimativas da Rg os modelos de 2 em 2 horas, a RQME variou 0,0918 a 0,7298 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou de -0,0518 a -0,1019 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>, onde subestimou a Rg pelos modelos nos horário do nascer do sol as 8 horas das 12 as 14 horas. As estimativas da Rg pelos modelos nos sub-períodos manhã e tarde a RQME variou de 0,7803 a 1,1321 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS subestimou a Rg pelo modelo no período a tarde e superestimou a Rg pela manhã (-0,0645 e 0,1572 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>). Quando a Rg foi estimada pelos modelos nos sub- períodos manhã 1, manhã 2, tarde 1 e tarde 2, o RMSE variou de 0,2162 a 0,7636 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou

de 0,0834 a -0,0254, indicando superestimativa da  $R_g$  pelo modelo para o sub-período, manhã 1 e subestimativa da  $R_g$  pelo modelo para o sub-período, tarde 1 (Tabela 11).

Tabela 9 – Modelos de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas  $R^2$  (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de fevereiro em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

Período do dia	Equação	$R^2$	RMSE	BIAS
Nascer do sol às 6h	ns	ns	ns	ns
6 às 7h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3000 + 0,4264(n/N))$	0,6561	0,1955	0,0108
7 às 8h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2670 + 0,4175(n/N))$	0,7782	0,3397	-0,0550
8 às 9h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2195 + 0,4755(n/N))$	0,8504	0,4934	-0,1986
9 às 10h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2491 + 0,4532(n/N))$	0,8264	0,6255	-0,2309
10 às 11h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2225 + 0,4925(n/N))$	0,8648	0,7226	-0,3000
11 às 12h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2175 + 0,4818(n/N))$	0,8445	0,7836	-0,3599
12 às 13h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2777 + 0,4062(n/N))$	0,7835	0,4141	-0,0874
13 às 14h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1944 + 0,4811(n/N))$	0,7905	0,4024	-0,0376
14 às 15h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2020 + 0,4409(n/N))$	0,7942	0,4954	0,0161
15 às 16h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2098 + 0,4062(n/N))$	0,8012	0,2582	-0,0066
16 às 17h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1885 + 0,3613 (n/N))$	0,7374	0,1649	-0,0248
17 às 18h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1474 + 0,2532 (n/N))$	0,6641	0,4313	-0,3436
Das 18 ao pôr do sol	ns	ns	ns	ns
Nascer do sol às 8h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2656 + 0,5585(n/N))$	0,7863	0,5450	-0,2125
8 às 10h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2281 + 0,4757(n/N))$	0,8713	1,4097	-0,8397
10 às 12h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2181 + 0,4896(n/N))$	0,8718	1,9824	-1,2146
12 às 14h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2293 + 0,4545(n/N))$	0,8393	0,7003	-0,0780
14 às 16h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1921 + 0,4867(n/N))$	0,8885	0,8948	-0,0252
16 ao pôr do sol	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1627 + 0,3938(n/N))$	0,7400	0,1952	-0,0834
Manhã*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2318 + 0,5498(n/N))$	0,8472	4,5905	-3,0222
Tarde*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2074 + 0,4786(n/N))$	0,8679	1,1321	-0,1081
Manhã 1*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2473 + 0,5630(n/N))$	0,8115	1,2086	0,7032
Manhã 2*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2285 + 0,4779(n/N))$	0,8656	3,0092	-1,9110
Tarde 1*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2156 + 0,4587(n/N))$	0,8552	0,8739	-0,0896
Tarde 2*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1896 + 0,4280(n/N))$	0,8371	0,3752	-0,0361

\*Manhã: nascer do sol às 12 horas, Tarde: das 12 horas ao pôr do sol, Manhã1: nascer do sol às 9 horas, Manhã 2: das 9 às 12 horas, Tarde 1: das 12 às 15 horas e Tarde 2: das 15 horas ao pôr do sol.  $K_{\downarrow}$ = radiação solar global ( $MJ m^{-2} h^{-1}$ ),  $K_{0\downarrow}$ = radiação solar no topo da atmosfera ( $MJ m^{-2} h^{-1}$ ), n= brilho solar (h), N= comprimento do dia (h). ns = equação não foi significativa pelo teste F da regressão.

Tabela 10 – Modelos de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas  $R^2$  (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de março em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

Período do dia	Equação	$R^2$	RQME	BIAS
Nascer do sol às 6h	ns	ns	ns	ns
6 às 7h	ns	ns	ns	ns
7 às 8h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2967 + 0,4103(n/N))$	0,6094	0,1812	-0,0115
8 às 9h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3033 + 0,4328(n/N))$	0,6712	0,2642	0,0618
9 às 10h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2990 + 0,3894(n/N))$	0,6647	0,3448	0,0142
10 às 11h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3415 + 0,3611(n/N))$	0,5988	0,3907	0,1137
11 às 12 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3297 + 0,3353(n/N))$	0,4989	0,4171	0,0236
12 às 13 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3093 + 0,3580(n/N))$	0,4920	0,3874	0,0488
13 às 14 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3006 + 0,3315(n/N))$	0,4614	0,4454	0,1009
14 às 15 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2817 + 0,3367(n/N))$	0,5234	0,3406	0,1072
15 às 16 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2653 + 0,2838(n/N))$	0,4155	0,2569	0,0396
16 às 17 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2242 + 0,2380(n/N))$	0,4575	0,1373	0,0397
17 às 18 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,0915 + 0,1658(n/N))$	0,2849	0,0468	-0,0050
Das 18 ao pôr do sol	ns	ns	ns	ns
Nascer do sol às 8h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2975 + 0,6406(n/N))$	0,5735	0,2426	0,0007
8 às 10h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2952 + 0,4207(n/N))$	0,6976	0,5270	0,0878
10 às 12h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3338 + 0,3523(n/N))$	0,5791	0,6912	0,1415
12 às 14h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3058 + 0,3405(n/N))$	0,4819	0,7362	0,1517
14 às 16h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2718 + 0,3200(n/N))$	0,5113	0,5258	0,1512
16 ao pôr do sol	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,0890 + 0,1441(n/N))$	0,2378	0,0475	-0,0064
Manhã*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3160 + 0,4810(n/N))$	0,6454	1,3214	0,3285
Tarde*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2823 + 0,3618(n/N))$	0,4921	1,1860	0,3828
Manhã 1*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3005 + 0,5733(n/N))$	0,6431	0,4939	0,0775
Manhã 2*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3200 + 0,3692(n/N))$	0,6238	0,9648	0,3732
Tarde 1*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2979 + 0,3412(n/N))$	0,5019	0,9451	0,2612
Tarde 2*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2293 + 0,3006(n/N))$	0,4700	0,3347	0,0839

\*Manhã: nascer do sol às 12 horas, Tarde: das 12 horas ao pôr do sol, Manhã1: nascer do sol às 9 horas, Manhã 2: das 9 as 12 horas, Tarde 1: das 12 as 15 horas e Tarde 2: das 15 horas ao pôr do sol.  $K_{\downarrow}$ = radiação solar global ( $MJ m^{-2} h^{-1}$ ),  $K_{0\downarrow}$ = radiação solar no topo da atmosfera ( $MJ m^{-2} h^{-1}$ ),  $n$ = brilho solar (h),  $N$ = comprimento do dia (h). ns = equação não foi significativa pelo teste F da regressão.

Na Tabela 12 e nos Apêndices AO a AX, encontram-se os modelos de estimativa da radiação solar global horária e para diferentes sub-períodos do dia no mês de maio. A estimativas da  $R_g$  pelos modelos a nível horário foram avaliados pelo teste RQME que variou de 0,0285 a 0,5559  $MJ h^{-1} m^{-2}$  e enquanto o BIAS variou de -0,2886 a 0,3923  $MJ h^{-1} m^{-2}$ , subestimou o modelo no horário das 9 as 10 horas e superestimou o modelo das 15 as 16 horas, respectivamente (Tabela 12). Para os modelos de 2 em 2 horas, a RQME variou 0,0285 a 0,5684  $MJ h^{-1} m^{-2}$  e o BIAS variou de -0,0302 a -0,3090  $MJ h^{-1} m^{-2}$ . Nos modelos os sub-períodos, manhã e tarde a RQME variou de 0,5924 a 1,0786  $MJ h^{-1} m^{-2}$  e o BIAS

subestimou a  $R_g$  no sub período, manhã e superestimou o sub-período, tarde variando de -0,2361 e 0,0273  $\text{MJ h}^{-1} \text{m}^{-2}$ . Para os modelos nos sub-períodos manhã , manhã 2, tarde 1 e tarde 2, o RQME variou de 0,1409 a 0,7553  $\text{MJ h}^{-1} \text{m}^{-2}$  e o BIAS variou de 0,0196 e -0,1512, superestimando a  $R_g$  nos sub-períodos tarde 2 e subestimando o manhã 2 (Tabela 12).

Tabela 11 – Modelos de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas  $R^2$  (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de abril em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

Período do dia	Equação	$R^2$	RQME	BIAS
Nascer do sol às 7h	ns	ns	ns	ns
7 às 8h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3268 + 0,5928(n/N))$	0,5709	0,1969	0,0539
8 às 9h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2696 + 0,4745(n/N))$	0,7916	0,2608	0,0187
9 às 10h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2421 + 0,4935(n/N))$	0,8149	0,3460	-0,0122
10 às 11h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2260 + 0,4787(n/N))$	0,8273	0,3398	0,0092
11 às 12h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1893 + 0,4786(n/N))$	0,8557	0,3346	0,0025
12 às 13 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1853 + 0,4550(n/N))$	0,8281	0,3588	-0,0085
13 às 14 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1726 + 0,4289(n/N))$	0,8027	0,3295	-0,0407
14 às 15 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,0361 + 0,0835(n/N))$	0,8134	1,1623	-1,0648
15 às 16 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1315 + 0,3552(n/N))$	0,8368	0,1719	-0,0056
16 às 17 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,0923 + 0,1938(n/N))$	0,6820	0,0745	-0,0043
Das 17 ao pôr do sol	ns	ns	ns	ns
Nascer do sol às 8h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3301 + 0,8513(n/N))$	0,5707	0,2840	0,0518
8 às 10h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2525 + 0,4956(n/N))$	0,8323	0,5208	0,0096
10 às 12h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2048 + 0,4860(n/N))$	0,8653	0,5476	0,0513
12 às 14h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1738 + 0,4502(n/N))$	0,8641	0,7298	-0,1019
14 às 16h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1483 + 0,3872(n/N))$	0,8607	0,3201	0,0026
16 ao pôr do sol	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,0764 + 0,2247(n/N))$	0,6625	0,0918	-0,0100
Manhã*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2244 + 0,7280(n/N))$	0,8720	1,1321	0,1572
Tarde*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1486 + 0,5334(n/N))$	0,8972	0,7803	-0,0645
Manhã 1*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2784 + 0,7274(n/N))$	0,7848	0,4458	0,0834
Manhã 2*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2014 + 0,5123(n/N))$	0,8919	0,7636	0,0356
Tarde 1*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1641 + 0,4479(n/N))$	0,8833	0,6849	-0,0254
Tarde 2*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1087 + 0,3488(n/N))$	0,8491	0,2162	-0,0184

\*Manhã: nascer do sol às 12 horas, Tarde: das 12 horas ao pôr do sol, Manhã1: nascer do sol às 9 horas, Manhã 2: das 9 às 12 horas, Tarde 1: das 12 às 15 horas e Tarde 2: das 15 horas ao pôr do sol.  $K_{\downarrow}$ = radiação solar global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ),  $K_{0\downarrow}$ = radiação solar no topo da atmosfera ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ), n= brilho solar (h), N= comprimento do dia (h). ns = equação não foi significativa pelo teste F da regressão.

Na Tabela 13 e nos Apêndices AY a BH, encontram-se os modelos de estimativa da radiação solar global horária e para diferentes períodos do dia no mês de junho. O teste RQME que variou de 0,4857 a 0,0777  $\text{MJ h}^{-1} \text{m}^{-2}$  e o BIAS variou de -0,0388 a 0,3196

$\text{MJ h}^{-1} \text{m}^{-2}$ . Para os modelos estimados de 2 em 2 horas, a RQME variou 0,5469 a 0,0202  $\text{MJ h}^{-1} \text{m}^{-2}$  e o BIAS -0,0409 a 0,0459  $\text{MJ h}^{-1} \text{m}^{-2}$ . Nos modelos estimados para manhã e tarde a RQME variou de 0,7284 e 0,9894  $\text{MJ h}^{-1} \text{m}^{-2}$  e o BIAS subestimou o modelo a tarde e superestimou pela manhã -0,0349 e -0,0417  $\text{MJ h}^{-1} \text{m}^{-2}$ ). E para os modelos manhã 1, manhã 2, tarde 1 e tarde 2, o RMSE variou de 0,1207 a 0,7774  $\text{MJ h}^{-1} \text{m}^{-2}$  e o BIAS variou -0,0293 e 0,0273 (Tabela 12).

Tabela 12 – Modelos de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas  $R^2$  (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de maio em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

Período do dia	Equação	$R^2$	RQME	BIAS
Nascer do sol às 7h	ns	ns	ns	ns
7 às 8h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3497 + 0,7572(n/N))$	0,5559	0,1507	-0,0148
8 às 9h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2490 + 0,4746(n/N))$	0,7860	0,3828	-0,1528
9 às 10h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2282 + 0,4980(n/N))$	0,8415	0,5536	-0,2886
10 às 11h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2419 + 0,4491(n/N))$	0,7992	0,3338	-0,0219
11 às 12h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2057 + 0,4560(n/N))$	0,8278	0,3124	-0,0602
12 às 13 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1635 + 0,4798(n/N))$	0,8733	0,3371	-0,0229
13 às 14 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1556 + 0,4278(n/N))$	0,8605	0,2592	-0,0613
14 às 15 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1833 + 0,3434(n/N))$	0,8085	0,2027	0,0568
15 às 16 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2766 + 0,1334(n/N))$	0,8248	0,5277	0,3923
16 às 17 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,0778 + 0,0957(n/N))$	0,3279	0,0285	0,0056
Das 17 ao pôr do sol	ns	ns	ns	ns
Nascer do sol às 8h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1163 + 0,3235(n/N))$	0,5894	0,3792	-0,3090
8 às 10h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2351 + 0,4990(n/N))$	0,8361	0,4806	-0,0724
10 às 12h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2114 + 0,4720(n/N))$	0,8526	0,5684	-0,0968
12 às 14h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1525 + 0,4669(n/N))$	0,9124	0,4712	-0,0905
14 às 16h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1571 + 0,32850(n/N))$	0,8701	0,2432	0,0302
16 ao pôr do sol	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,0676 + 0,0983(n/N))$	0,3059	0,0285	0,0054
Manhã*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2233 + 0,6942(n/N))$	0,8613	1,0786	-0,2361
Tarde*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1559 + 0,5223(n/N))$	0,8929	0,5924	0,0273
Manhã 1*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2636 + 0,7239(n/N))$	0,7772	0,3445	-0,0467
Manhã 2*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2131 + 0,4867(n/N))$	0,8689	0,7553	-0,1512
Tarde 1*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1624 + 0,4349(n/N))$	0,9047	0,5127	-0,0313
Tarde 2*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1124 + 0,2782(n/N))$	0,8141	0,1409	0,0196

\*Manhã: nascer do sol às 12 horas, Tarde: das 12 horas ao pôr do sol, Manhã1: nascer do sol às 9 horas, Manhã 2: das 9 as 12 horas, Tarde 1: das 12 as 15 horas e Tarde 2: das 15 horas ao pôr do sol.  $K_{\downarrow}$ = radiação solar global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ),  $K_{0\downarrow}$ = radiação solar no topo da atmosfera ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ), n= brilho solar (h), N= comprimento do dia (h). ns= A equação não foi significativa pelo teste F da regressão.

Na Tabela 14 e nos Apêndices BI a BR, encontram-se os modelos de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária e para diferentes sub-períodos do dia para o mês de julho.

Os modelos estimados a nível horário foram avaliados pelo teste RQME que variou de 0,0331 a 0,3156 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou de -0,0005 a 0,1467 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Para os modelos estimados de 2 em 2 horas, a RQME variou 0,0332 a 0,7501 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS 0,0001 a 0,3030 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Nos modelos estimados para manhã e tarde a RQME variou de 0,3350 a 0,9328 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou de 0,1672 a 0,34149 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Para os modelos manhã 1, manhã 2, tarde 1, tarde 2, o RQME variou de 0,1404 a 0,8332 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou 0,0242 a 0,3305 (Tabela 14).

Tabela 13– Modelos de estimativa da radiação solar global (R<sub>g</sub>) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas R<sup>2</sup> (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de junho em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

Período do dia	Equação	R <sup>2</sup>	RMSE	BIAS
Nascer do sol às 7h	ns	ns	ns	ns
7 às 8h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3889 + 0,9350 (n/N))$	0,3836	0,1294	-0,0024
8 às 9h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2351 + 0,4320 (n/N))$	0,6567	0,2087	-0,0108
9 às 10h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2229 + 0,4895 (n/N))$	0,8173	0,2542	-0,0152
10 às 11h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2451 + 0,4291 (n/N))$	0,7488	0,3268	0,0108
11 às 12h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2258 + 0,4400 (n/N))$	0,7990	0,4857	0,3196
12 às 13 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2027 + 0,4330 (n/N))$	0,8260	0,2740	0,0114
13 às 14 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1837 + 0,4037 (n/N))$	0,7950	0,3185	-0,0178
14 às 15 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1597 + 0,3615 (n/N))$	0,8387	0,2366	-0,0388
15 às 16 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1240 + 0,2807 (n/N))$	0,8213	0,1169	-0,0091
16 às 17 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,0635 + 0,0964 (n/N))$	0,2427	0,0777	0,0746
Das 17 ao pôr do sol	ns	ns	ns	ns
Nascer do sol às 8h	ns	ns	ns	ns
8 às 10h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2246 + 0,4900 (n/N))$	0,7811	0,4101	-0,0250
10 às 12h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2291 + 0,4479 (n/N))$	0,8166	0,5869	0,0459
12 às 14h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1876 + 0,4303 (n/N))$	0,8425	0,5873	-0,0409
14 às 16h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1434 + 0,3375 (n/N))$	0,8604	0,3152	-0,0352
16 ao pôr do sol	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,0602 + 0,0975 (n/N))$	0,2400	0,0202	0,0020
Manhã*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2269 + 0,5825 (n/N))$	0,8265	0,9894	-0,0417
Tarde*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1622 + 0,4415 (n/N))$	0,8769	0,7284	-0,0349
Manhã 1*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2654 + 0,7020 (n/N))$	0,6577	0,3123	-0,0293
Manhã 2*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2225 + 0,4719 (n/N))$	0,8382	0,7374	0,0273
Tarde 1*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1746 + 0,4218 (n/N))$	0,8759	0,6283	0,0187
Tarde 2*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1071 + 0,3102 (n/N))$	0,7820	0,1207	-0,0136

\*Manhã: nascer do sol às 12 horas, Tarde: das 12 horas ao pôr do sol, Manhã1: nascer do sol às 9 horas, Manhã 2: das 9 as 12 horas, Tarde 1: das 12 as 15 horas e Tarde 2: das 15 horas ao pôr do sol.  $K_{\downarrow}$ = radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>),  $K_{0\downarrow}$ = radiação solar no topo da atmosfera (MJ m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), n= brilho solar (h), N= comprimento do dia (h). ns = a equação não foi significativa pelo teste F da regressão.

Na Tabela 15 e nos Apêndices BS a CB, encontram-se os modelos de estimativa da radiação solar global horária e para diferentes períodos do dia no mês de agosto. Os modelos

estimados a nível horário foram avaliados pelo teste RMSE que variou de 0,0030 a 0,7455 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou de -0,5298 a 0,0405 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Para os modelos estimados de 2 em 2 horas, a RMSE variou 0,0552 a 0,7731 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS -0,6214 a 0,0106 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Nos modelos estimados para manhã e tarde a RMSE variou de 1,1187 a 1,2912 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou de -0,0364 a 0,2912 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Para os modelos manhã 1, manhã 2, tarde 1, tarde 2, o RMSE variou de 1,0804 a 0,1711 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou 0,3104 a -0,0079 (Tabela 15).

Tabela 14 – Modelos de estimativa da radiação solar global (R<sub>g</sub>) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas R<sup>2</sup> (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de julho em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

Período do dia	Equação	R <sup>2</sup>	RMSE	BIAS
Nascer do sol às 7h	ns	ns	ns	ns
7 às 8h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3329 + 0,7218(n/N))$	0,4391	0,1191	0,0350
8 às 9h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2191 + 0,4384(n/N))$	0,8030	0,2029	0,0196
9 às 10h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2118 + 0,4928(n/N))$	0,8576	0,2727	0,0318
10 às 11h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1978 + 0,4961(n/N))$	0,8700	0,3156	0,0189
11 às 12h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1897 + 0,4874(n/N))$	0,8750	0,3089	0,0541
12 às 13 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1600 + 0,5632(n/N))$	0,8722	0,3127	0,1467
13 às 14 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1746 + 0,4409(n/N))$	0,8458	0,2394	0,0209
14 às 15 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1679 + 0,3931(n/N))$	0,8366	0,1916	0,0317
15 às 16 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1406 + 0,3223(n/N))$	0,7802	0,1120	0,0265
16 às 17 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,0891 + 0,2066(n/N))$	0,5748	0,0331	-0,0005
Das 17 ao pôr do sol	ns	ns	ns	ns
Nascer do sol às 8h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3293 + 0,8176(n/N))$	0,4206	0,1313	0,0423
8 às 10h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2154 + 0,4756(n/N))$	0,8480	0,4342	0,0459
10 às 12h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1900 + 0,4984(n/N))$	0,8897	0,5464	0,0733
12 às 14h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1776 + 0,4555(n/N))$	0,8745	0,7501	0,3030
14 às 16h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1552 + 0,3718(n/N))$	0,8353	0,2709	0,0584
16 ao pôr do sol	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,0808 + 0,2097(n/N))$	0,5540	0,0332	0,0001
Manhã*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2020 + 0,5845(n/N))$	0,8816	0,9328	0,1672
Tarde*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1600 + 0,4717(n/N))$	0,8721	0,3350	0,3414
Manhã 1*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2364 + 0,6546(n/N))$	0,7575	0,2972	0,0671
Manhã 2*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1923 + 0,5059(n/N))$	0,8997	0,7012	0,1029
Tarde 1*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,0000 + 0,4426(n/N))$	0,8809	0,8332	0,3305
Tarde 2*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1218 + 0,3620(n/N))$	0,7886	0,1404	0,0242

\*Manhã: nascer do sol às 12 horas, Tarde: das 12 horas ao pôr do sol, Manhã1: nascer do sol às 9 horas, Manhã 2: das 9 às 12 horas, Tarde 1: das 12 às 15 horas e Tarde 2: das 15 horas ao pôr do sol.  $K_{\downarrow}$ = radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>),  $K_{0\downarrow}$ = radiação solar no topo da atmosfera (MJ m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), n= brilho solar (h), N= comprimento do dia (h). ns = a equação não foi significativa pelo teste F da regressão.

Na Tabela 16 e nos Apêndices CC a CL, encontram-se os modelos de estimativa da radiação solar global horária e para diferentes períodos do dia no mês de setembro. Os

modelos estimados a nível horário foram avaliados pelo teste RMSE que variou de 0,4493 a 1,6881 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou de -0,1274 a 0,1164 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Para os modelos estimados de 2 em 2 horas, a RMSE variou 0,1554 a 1,1808 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS -0,2151 a 0,8244 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Nos modelos estimados para manhã e tarde a RMSE variou de 1,2139 a 1,7345 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou de -0,3582 a 0,5608 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Para os modelos manhã 1, manhã 2, tarde 1, tarde 2, o RMSE variou de 1,0766 a 0,3899 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou 0,4157 a -0,2672 (Tabela 16).

Tabela 15 – Modelos de estimativa da radiação solar global (R<sub>g</sub>) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas R<sup>2</sup> (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de agosto em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

Período do dia	Equação	R <sup>2</sup>	RMSE	BIAS
Nascer do sol às 7h	ns	ns	ns	ns
7 às 8h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2701 +0,5369(n/N))	0,7073	0,1650	0,0126
8 às 9h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2293 +0,4826(n/N))	0,7704	0,2456	0,0405
9 às 10h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2038 +0,5158(n/N))	0,8539	0,3514	0,0124
10 às 11h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1824 +0,5113(n/N))	0,8632	0,4010	-0,0163
11 às 12h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1863 +0,2488(n/N))	0,8583	0,7455	0,5298
12 às 13 h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1838+0,4671(n/N))	0,8333	0,3664	0,0201
13 às 14 h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1717 +0,4504(n/N))	0,8315	0,3161	0,0265
14 às 15 h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1648 +0,4081(n/N))	0,8219	0,2590	0,0043
15 às 16 h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1470 +0,3512(n/N))	0,7903	0,1399	-0,0003
16 às 17 h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1110 +0,1956(n/N))	0,6449	0,0546	-0,0024
Das 17 ao pôr do sol	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,0045+0,0609(n/N))	0,1086	0,0030	-0,0005
Nascer do sol às 8h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2599 +0,7144(n/N))	0,6969	0,1916	0,0022
8 às 10h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2115 +0,5137(n/N))	0,8443	0,5487	-0,0459
10 às 12h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1748 +0,5178(n/N))	0,9017	0,7331	-0,1972
12 às 14h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1253 +0,3313(n/N))	0,8508	1,1381	-0,6214
14 às 16h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1524 +0,3982(n/N))	0,8375	0,3292	0,0106
16 ao pôr do sol	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,0902 +0,2269(n/N))	0,6359	0,0552	-0,0031
Manhã*	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1941 +0,7077(n/N))	0,8884	1,2912	-0,0364
Tarde*	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1574 +0,5592(n/N))	0,8559	1,1187	0,2912
Manhã 1*	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2382+0,6256(n/N))	0,7653	0,4004	0,0367
Manhã 2*	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1768 +0,5316(n/N))	0,9151	0,9663	-0,0066
Tarde 1*	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1682 +0,4553(n/N))	0,8586	1,0804	0,3104
Tarde 2*	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1268 +0,3531(n/N))	0,7837	0,1711	-0,0079

\*Manhã: nascer do sol às 12 horas, Tarde: das 12 horas ao pôr do sol, Manhã1: nascer do sol às 9 horas, Manhã 2: das 9 as 12 horas, Tarde 1: das 12 as 15 horas e Tarde 2: das 15 horas ao pôr do sol. K<sub>↓</sub>= radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), K<sub>0↓</sub>= radiação solar no topo da atmosfera (MJ m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), n= brilho solar (h), N= comprimento do dia (h). ns = a equação não foi significativa pelo teste F da regressão.

Na tabela 17 e nos apêndices CM a CV, encontram-se os modelos de estimativa da radiação solar global horária e para diferentes períodos do dia no mês de outubro. Os

modelos estimados a nível horário foram avaliados pelo teste RMSE que variou de 0,0306 a 0,4906 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou de -0,0327 a 0,0776 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Para os modelos estimados de 2 em 2 horas, a RMSE variou 1,1557 a 0,1493 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS -0,0135 a 0,3942 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Nos modelos estimados para manhã e tarde a RMSE variou de 1,6610 a 1,8041 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou de 0,3105 a 0,3105 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Para os modelos manhã 1, manhã 2, tarde 1, tarde 2, o RMSE variou de 0,6554 a 1,4491 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou -0,0077 a 0,5484 (Tabela 17).

Tabela 16 – Modelos de estimativa da radiação solar global (R<sub>g</sub>) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas R<sup>2</sup> (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de setembro em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

Período do dia	Equação	R <sup>2</sup>	RMSE	BIAS
Nascer do sol às 7h	ns	ns	ns	ns
7 às 8h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,3038 +0,6193(n/N))	0,5828	0,2616	0,1164
8 às 9h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2859 +0,5431(n/N))	0,6829	0,3658	0,1370
9 às 10h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2591 +0,4906(n/N))	0,6734	0,3944	0,1049
10 às 11h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2039 +0,5116(n/N))	0,8021	0,4493	0,0429
11 às 12h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1931 +0,4749(n/N))	0,7839	0,4333	-0,0239
12 às 13 h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1792 +0,4679(n/N))	0,7982	0,4107	-0,0324
13 às 14 h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1576 +0,4322(n/N))	0,8079	0,3942	-0,1212
14 às 15 h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1505 +0,3739(n/N))	0,7317	0,3405	-0,1274
15 às 16 h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1199 +0,3125(n/N))	0,6047	0,2443	-0,1065
16 às 17 h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,0793 +0,1889(n/N))	0,4145	0,1269	-0,0722
Das 17 ao pôr do sol	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,0160 +0,0336(n/N))	0,0863	1,6881	0,0384
Nascer do sol às 8h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,3806 +0,7498(n/N))	0,4920	0,5025	0,2745
8 às 10h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2620 +0,5368(n/N))	0,7346	0,7053	0,2574
10 às 12h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1899 +0,5097(n/N))	0,8424	1,1808	0,8244
12 às 14h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1606 +0,4665(n/N))	0,8470	0,7345	-0,1475
14 às 16h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1360 +0,35390(n/N))	0,7029	0,5023	-0,2151
16 ao pôr do sol	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,0775 +0,1156(n/N))	0,2727	0,1554	-0,0875
Manhã*	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2303 +0,6160(n/N))	0,8526	1,7345	0,5608
Tarde*	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1430 +0,4088(n/N))	0,7888	1,2139	-0,3582
Manhã 1*	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,3198 +0,6989(n/N))	0,6340	0,7942	0,4157
Manhã 2*	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1961 +0,5352(n/N))	0,8380	1,0766	0,1519
Tarde 1*	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1539 +0,4482(n/N))	0,8472	0,9687	-0,2672
Tarde 2*	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1054+0,2324(n/N))	0,4844	0,3899	-0,1995

\*Manhã: nascer do sol às 12 horas, Tarde: das 12 horas ao pôr do sol, Manhã1: nascer do sol às 9 horas, Manhã 2: das 9 as 12 horas, Tarde 1: das 12 as 15 horas e Tarde 2: das 15 horas ao pôr do sol. K<sub>↓</sub>= radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), K<sub>0↓</sub>= radiação solar no topo da atmosfera (MJ m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), n= brilho solar (h), N= comprimento do dia (h). ns = a equação não foi significativa pelo teste F da regressão.

Na Tabela 18 e nos Apêndices CW a DF, encontram-se os modelos de estimativa da radiação solar global horária e para diferentes períodos do dia no mês de novembro. Os modelos estimados a nível horário foram avaliados pelo teste RMSE que variou de 0,7042 a

0,0650 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou de -0,3638 a 0,1830 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Para os modelos estimados de 2 em 2 horas, a RMSE variou 1,3223 a 0,1838 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS -1,0847 a 0,5020 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Nos modelos estimados para manhã e tarde a RMSE variou de 1,3470 a 1,9370 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou de 0,1645 a 0,4655 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Para os modelos manhã 1, manhã 2, tarde 1, tarde 2, o RMSE variou de 0,33294 a 1,2998 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou -0,07620 a 0,4725 (Tabela 18).

Tabela 17 – Modelos de estimativa da radiação solar global (R<sub>g</sub>) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas R<sup>2</sup> (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de outubro em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

Período do dia	Equação	R <sup>2</sup>	RMSE	BIAS
Nascer do sol às 6h	ns	ns	ns	ns
6 às 7h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,4271 +0,7743(n/N))	0,4510	0,2515	0,0421
7 às 8h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2882 +0,5721(n/N))	0,7141	0,3128	0,0618
8 às 9h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2459 +0,5818(n/N))	0,8173	0,3918	0,0590
9 às 10h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2320 +0,5399(n/N))	0,8473	0,4515	-0,0327
10 às 11h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2498 +0,4916(n/N))	0,7915	0,5782	0,0336
11 às 12 h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2204 +0,4838(n/N))	0,8133	0,5378	-0,0163
12 às 13 h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2249 +0,4439(n/N))	0,7216	0,5744	0,0776
13 às 14 h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2021 +0,4336(n/N))	0,7942	0,4906	0,0652
14 às 15 h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1995 +0,3792(n/N))	0,7600	0,4190	0,0554
15 às 16 h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1615 +0,3402(n/N))	0,7736	0,2834	0,0477
16 às 17 h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1088 +0,2489(n/N))	0,7413	0,1484	-0,0043
17 às 18 h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,0400 +0,0501(n/N))	0,3341	0,0306	-0,0067
Das 18 ao pôr do sol	ns	ns	ns	ns
Nascer do sol às 8h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,3181 +0,9290(n/N))	0,7227	0,5146	0,1418
8 às 10h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2323 +0,5722(n/N))	0,8654	0,7581	0,0320
10 às 12h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2242 +0,5066(n/N))	0,8464	0,9663	0,0232
12 às 14h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2069 +0,4528(n/N))	0,7950	1,1557	0,3942
14 às 16h	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1731 +0,3806(n/N))	0,8185	0,6168	0,1249
16 ao pôr do sol	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,0817 +0,2883(n/N))	0,7628	0,1493	0,0135
Manhã*	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2331 +0,6769(n/N))	0,8862	1,8041	0,3105
Tarde*	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1741 +0,4365(n/N))	0,8247	1,6610	0,6337
Manhã 1*	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2758 +0,8335(n/N))	0,8033	0,8153	0,2403
Manhã 2*	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2227 +0,5244(n/N))	0,8767	1,2792	-0,0077
Tarde 1*	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,2035 +0,43530(n/N))	0,8138	1,4491	0,4737
Tarde 2*	K <sub>↓</sub> = K <sub>0↓</sub> (0,1181 +0,3247(n/N))	0,8122	0,6554	0,5484

\*Manhã: nascer do sol às 12 horas, Tarde: das 12 horas ao pôr do sol, Manhã1: nascer do sol às 9 horas, Manhã 2: das 9 as 12 horas, Tarde 1: das 12 as 15 horas e Tarde 2: das 15 horas ao pôr do sol. K<sub>↓</sub>= radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), K<sub>0↓</sub>= radiação solar no topo da atmosfera (MJ m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), n= brilho solar (h), N= comprimento do dia (h). ns = a equação não foi significativa pelo teste F da regressão.

Na Tabela 19 e nos Apêndices DG a DP, encontram-se os modelos de estimativa da radiação solar global horária e para diferentes períodos do dia no mês de dezembro. Os

modelos estimados a nível horário foram avaliados pelo teste RMSE que variou de 0,9339 a 0,1020 MJ h<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup> e o BIAS variou -0,8984 a 0,0475 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Para os modelos estimados de 2 em 2 horas, a RMSE variou 1,2832 a 0,2587 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS -0,0792 a 0,4392 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Nos modelos estimados para manhã e tarde a RMSE variou de 1,5380 a 1,7056 MJ h<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup> e o BIAS variou de -0,0184 a 0,6585 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Para os modelos manhã 1, manhã 2, tarde 1, tarde 2, o RMSE variou de 0,4706 a 1,4646 MJ h<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> e o BIAS variou -0,0253 a 0,4967 (Tabela 19).

Tabela 18 – Modelos de estimativa da radiação solar global (R<sub>g</sub>) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas R<sup>2</sup> (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de novembro em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

Período do dia	Equação	R <sup>2</sup>	RMSE	BIAS
Nascer do sol às 6h	ns	ns	ns	ns
6 às 7h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3533 + 0,5965 (n/N))$	0,6201	0,2532	0,0323
7 às 8h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3084 + 0,5472 (n/N))$	0,7241	0,3263	0,0015
8 às 9h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2494 + 0,54380(n/N))$	0,7460	0,4974	0,0095
9 às 10h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2271 + 0,5458(n/N))$	0,7751	0,4957	-0,0504
10 às 11h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1943 + 0,5541(n/N))$	0,8315	0,5485	-0,0693
11 às 12 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2182 + 0,5082(n/N))$	0,7985	0,5722	0,0468
12 às 13 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3196 + 0,3763(n/N))$	0,4866	0,7042	0,1830
13 às 14 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2467 + 0,4173(n/N))$	0,7450	0,5378	0,1074
14 às 15 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1813 + 0,4345(n/N))$	0,8420	0,4396	0,0960
15 às 16 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1498 + 0,3808(n/N))$	0,7997	0,2971	0,0183
16 às 17 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1410 + 0,2927(n/N))$	0,7033	0,4868	-0,3638
17 às 18 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,0787 + 0,1221(n/N))$	0,3442	0,0650	0,0140
Das 18 ao pôr do sol	ns	ns	ns	ns
Nascer do sol às 8h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3421 + 0,8151(n/N))$	0,7521	0,5685	0,4120
8 às 10h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2521 + 0,54170(n/N))$	0,8082	0,8525	0,5020
10 às 12h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2216 + 0,5245(n/N))$	0,8597	0,9562	0,0839
12 às 14h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2613 + 0,4465(n/N))$	0,7092	1,0888	0,3774
14 às 16h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1038 + 0,2683(n/N))$	0,8909	1,3223	-1,0847
16 ao pôr do sol	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1023 + 0,2924(n/N))$	0,6818	0,1838	0,0451
Manhã*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2203 + 0,6358 (n/N))$	0,8519	2,0066	-0,5678
Tarde*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1692 + 0,4756(n/N))$	0,8648	1,3456	0,4564
Manhã 1*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3081 + 0,7259(n/N))$	0,7823	0,8800	0,1021
Manhã 2*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2209 + 0,5396(n/N))$	0,8668	1,2998	0,0747
Tarde 1*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2232 + 0,4632(n/N))$	0,7927	1,2613	0,4725
Tarde 2*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1216 + 0,3679(n/N))$	0,8126	0,3329	0,0762

\*Manhã: nascer do sol às 12 horas, Tarde: das 12 horas ao pôr do sol, Manhã1: nascer do sol às 9 horas, Manhã 2: das 9 as 12 horas, Tarde 1: das 12 as 15 horas e Tarde 2: das 15 horas ao pôr do sol.  $K_{\downarrow}$ = radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>),  $K_{0\downarrow}$ = radiação solar no topo da atmosfera (MJ m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), n= brilho solar (h), N= comprimento do dia (h). ns = a equação não foi significativa pelo teste F da regressão.

Tabela 19 – Modelos de estimativa da radiação solar global ( $R_g$ ) horária, de 2 em 2 horas e nos diferentes sub-períodos do dia e as estatísticas  $R^2$  (coeficiente de determinação), RQME (Raiz do quadrado médio do erro) e BIAS (Viés) para o mês de dezembro em Santa Maria, RS no período de 1968 a 2010.

Período do dia	Equação	$R^2$	RMSE	BIAS
Nascer do sol às 6h	ns	ns	ns	ns
6 às 7h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3373 + 0,5343(n/N))$	0,6922	0,4879	-0,3633
7 às 8h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2751 + 0,5356(n/N))$	0,7743	0,3027	-0,0191
8 às 9h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2653 + 0,4787(n/N))$	0,7570	0,3243	0,0041
9 às 10h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2703 + 0,4884(n/N))$	0,7200	0,3604	0,0475
10 às 11h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1802 + 0,5641(n/N))$	0,8408	0,4638	-0,1099
11 às 12 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2412 + 0,4917(n/N))$	0,7982	0,5112	0,0287
12 às 13 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2661 + 0,4324(n/N))$	0,7021	0,5095	-0,0205
13 às 14 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2167 + 0,4489(n/N))$	0,7280	0,5027	0,0268
14 às 15 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2284 + 0,4090(n/N))$	0,6968	0,4721	0,0415
15 às 16 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2077 + 0,3820(n/N))$	0,6743	0,3075	0,0416
16 às 17 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,0184 + 0,0407(n/N))$	0,7195	0,9739	-0,8984
17 às 18 h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1399 + 0,2010(n/N))$	0,6077	0,1020	-0,0006
Das 18 ao pôr do sol	-	-	-	-
Nascer do sol às 8h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,3011 + 0,7832(n/N))$	0,8070	0,5192	-0,0306
8 às 10h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2502 + 0,5101(n/N))$	0,7880	0,5726	0,0592
10 às 12h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1921 + 0,5536(n/N))$	0,8697	0,8138	-0,0792
12 às 14h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2430 + 0,4459(n/N))$	0,7562	1,2832	0,4392
14 às 16h	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2002 + 0,4254(n/N))$	0,7859	0,6459	0,0935
16 ao pôr do sol	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1386 + 0,3612(n/N))$	0,7709	0,2587	0,0137
Manhã*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2293 + 0,6445(n/N))$	0,8560	1,5380	-0,0184
Tarde*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2046 + 0,4664(n/N))$	0,8225	1,7056	0,6585
Manhã 1*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2790 + 0,6910(n/N))$	0,8328	0,7683	-0,0253
Manhã 2*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1903 + 0,5685(n/N))$	0,8659	1,0506	-0,0228
Tarde 1*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,2261 + 0,4535(n/N))$	0,8059	1,4646	0,4967
Tarde 2*	$K_{\downarrow} = K_{0\downarrow} (0,1619 + 0,4115(n/N))$	0,7825	0,4706	0,0655

\*Manhã: nascer do sol às 12 horas, Tarde: das 12 horas ao pôr do sol, Manhã1: nascer do sol às 9 horas, Manhã 2: das 9 as 12 horas, Tarde 1: das 12 as 15 horas e Tarde 2: das 15 horas ao pôr do sol.  $K_{\downarrow}$ = radiação solar global ( $MJ m^{-2} h^{-1}$ ),  $K_{0\downarrow}$ = radiação solar no topo da atmosfera ( $MJ m^{-2} h^{-1}$ ), n= brilho solar (h), N= comprimento do dia (h). ns = a equação não foi significativa pelo teste F da regressão.

Os coeficientes da equação de radiação solar estimados em nível horário são parecidos aos encontrados por Estefanel et al. (1990), porém os  $R^2$  são baixos a ponto de não serem comparados aos de Estefanel et al. (1990). Os valores de RQME são altos quando comparados há outros modelos de estimativas de radiação solar global horárias desenvolvidos por GUEYMARD (2006), YANG et al. (2006) e MASAKI et al. (2010). No geral os menores RQME foram obtidos nos horários de início da manhã e fim da tarde, horários de menor disponibilidade de radiação solar em relação aos valores de radiação solar

global próximo do meio dia, pois nesses horários a espessura da atmosfera a ser atravessada pela radiação solar é maior, a radiação incidente é menor nas primeiras e últimas horas do dia, o que certamente contribuiu para aumentar também os erros de estimativas da radiação solar global. As estimativas de radiação solar global nos dias nublados não foram bem simulados pelos modelos nos diferentes horários e diferentes sub-períodos do dia para todos os meses.

## 5 CONCLUSÕES

As séries históricas mensais e sazonais de brilho solar em Santa Maria, RS, no período de 1912 a 2010 são homogêneas para quase todos os meses e estações do ano, exceto para o mês de dezembro e a estação do ano de outono.

Nas séries históricas mensais e sazonais de brilho solar em Santa Maria, RS no período de 1912 a 2010 não há tendência de aumento ou diminuição, ou seja, as séries são estacionárias.

Há grande variabilidade interanual e interdecadal nas séries históricas de brilho solar em Santa Maria, RS, com sinal do fenômeno El Niño Oscilação Sul e da Oscilação Decadal do Pacífico neste elemento climático.

Nas fases frias do ENOS e da ODP ocorre maior número de horas de brilho solar, principalmente nos meses de primavera e verão, em Santa Maria, RS.

A série de brilho solar médio mensal diário e a série de brilho solar nos períodos do dia, mais precisamente das 9 às 15 horas apresentaram tendências decrescente, principalmente no mês de outubro e na estação do ano, a primavera.

Existe variabilidade interanual na série de brilho solar média mensal diário e nas séries de brilho solar no diferentes períodos do dia.

Em anos de La Niña a média de brilho solar diário e nos diferentes períodos do dia é maior nos meses de outubro, novembro e dezembro.

Em anos de El Niño a média de brilho solar diário e nos diferentes períodos do dia é maior nos meses de janeiro e fevereiro.

A estimativa da radiação solar global pela a equação de Ångström modificada por Prescott e Penman não foi precisa em nível horário e em diferentes sub- período do dia por isso sugere-se que sejam testadas por outros modelos as estimativas da estimativa da radiação solar global horária.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGGARWAL, P. K. et al. InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. I. Model description. **Agricultural Systems**, Netherlands, v. 89, p. 1-25, 2006.

AKINOGLU, B.G. Recent advances in the relations between bright sunshine hours and solar irradiation. In: **Modeling solar radiation at the Earth's surface**. Berlin: Springer, 2008, p. 115–143.

ALBERTO, C. M. ; STRECK, N. A. ; HELDWEIN, A. B. ; BURIOL, G. A.; MEDEIROS, S. L. P . Água no solo e rendimento do trigo, soja e milho associados ao El Niño Oscilação Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1067-1075, 2006.

ALEXANDERSSON, H. A homogeneity test applied to precipitation data. **Journal of Climatology**, v.6, p.661-675, 1986.

ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/ energéticas com a atmosfera – Introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: Edição do autor, 2002. 272p.

BACK, A.J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.717-726, 2001.

BAKIRCI, K. Models of solar radiation with hours of bright sunshine: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v.13, p. 2580–2588, 2009.

BASISTHA, A.; ARYA, D.S.; GOEL, N.K. Analysis of historical changes in rainfall in the Indian Himalayas. **International Journal of Climatology**, v.29, p.555-572, 2009.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; Aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2003. 110 p.

BERLATO, M. A. Radiação Solar Global no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Agronomia Sulriograndense**, v. 7, n. 2, p. 115-131, 1971.

BLANCO, F. F.; SENTELHAS P. C. Coeficientes da equação de Angström-Prescott para estimativa da insolação para Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 295-300, 2002.

BLAIN, G.C.; PICOLI, M.C.A.; LULU, J. Análise estatística das tendências de elevação nas séries anuais de temperatura mínima do ar no estado de São Paulo. **Bragantia**, v.68, p.807-815, 2009.

BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; SCHNEIDER, F. M.; BERLATTO, M. A. Insolação e radiação solar na região de Santa Maria, RS. II- disponibilidade e variabilidade . **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 205-223, 1991.

BURIOL, G. A. et al. Transmissividade a Radiação Solar do Polietileno de Baixa Densidade utilizados em estufas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 1-4, 1995.

BURIOL, G. A. ; ESTEFANEL, V. ; MATZENAUER, R. ; CARGNELUTTI FILHO, A. ; TAZZO, I. F. ; GAZOLA, M. Homogeneidade da radiação solar global medida nas estações meteorológicas da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 12, p. 65-72, 2006.

CAVALCANTI, N.J.; AMBRIZZI, T. **Teleconexões e suas influências no Brasil**. In: I.F.A. I.F.A. CAVALCANTI, N.J. FERREIRA, M.G.A.J. SILVA, M.A.F. da SILVA DIAS. (Org.). Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, v. 1, p. 213-233.

CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. T.; BENDER, F. D. Influência da Oscilação decadal do Pacífico e as mudanças no regime de chuva do Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, v. Esp, p. 317-320, 2009.

CHEN, Z.J.; HE, X.Y.; CHEN, W.; SHAO, X.M.; SUN, Y.; TAO, D.L. Solar activity, global surface air temperature anomaly and Pacific Decadal Oscillation signals observed in urban outskirts tree ring records from Shenyang, China. **Advances in Space Research**, v. 38, p. 2272-2284, 2006.

CUSTÓDIO, M. S.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Nebulosidade diurna no Rio Grande do Sul: Climatologia e tendência temporal. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.15, n.1, p.45-52, 2009.

DALMAGO, G. A. et al . Evapotranspiração máxima da cultura de pimentão em estufa plástica em função da radiação solar, da temperatura, da umidade relativa e do déficit de saturação do ar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 785 – 792, 2006.

DIAS, P. L. S; MARENGO, J. **Águas Atmosféricas**. In: REBOUÇAS, A.;BRAGA, B.; TUNDISI, J. (org). **Águas Doces do Brasil: Capital Ecológica, Usos e conservação**. 2 ed. SP: Escrituras Editora, 2002.

ECHER, E.; SOUZA, M. P.; SCHUCH, N J. A Lei de Beer Aplicada na Atmosfera Terrestre. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 276-283, setembro, 2001.

ESCOBAR, G. C. J. Padrões Sinóticos Associados a Ondas de Frio na Cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, p. 241-254, 2007.

ESCOBEDO, J. F. ; GOMES, E. N. ; FURLAN JUNIOR, C. R. ; OLIVEIRA, A. P. ; SOARES, J. R. . Estimativas das radiações global, direta e difusa horária, diária e mensal em função do índice de claridade (Kt) e razão de insolação (n/N). In: Congresso Brasileiro de Energia Solar, 1, 2007, Fortaleza, CE. **Anais**. I Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2007.

ESTEFANEL, V.; SCHNEIDER, F. M. ; BERLATTO, M. A. ; BURIOL, G. A. ; HELDWEIN, A. B. Insolação e radiação solar na região de Santa Maria, RS. I - Estimativa da radiação solar global incidente a partir dos dados de insolação . **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 20, n. 3-4, p. 203-218, 1990.

FERRAZ, S. E. T. **Variabilidade Intrasazonal no Brasil e Sul da América do Sul**. 2004. 145f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

FERRAZ, S. E. T., ROBERTI, D. R., MORAES, O. L. L., MARTINS, C. A. Influência do Modo Sul de Precipitação na variabilidade de pequena escala. **Ciência e Natura**, v. esp., p. 407-410, 2007.

FERRAZ, S. E. T. **Estatística Aplicada À Climatologia Parte II – Séries Temporais**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2010. Polígrafo de aula.

FONTANA, D.C.; OLIVEIRA, D. Relação entre radiação solar global e insolação para o Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 87-91, 1996.

GARCIA, S.R.; KAYANO, M.T. Climatological aspects of Hadley, Walker and monsoon circulations in two phases of the Pacific Decadal Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v.91, p.117-127, 2008.

GHINI, R. et al., . Efeito da solarização sobre propriedades físicas, químicas e biológicas de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 1, p. 71-79, 2003.

GLANTZ, M. H. Introduction. IN: GLANTZ, M. H; RICHARD, W. K.; NICHOLLS, N. **Teleconnection linking worldwide climate anomalies**. New York: Cambridge University. 2001, p. 43-72.

GOERGEN, R. Análise de precipitação e temperatura do Rio Grande do Sul por meio de séries temporais. 2008. 112f. **Monografia** (Aperfeiçoamento/Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

GRIMM, A.; FERRAZ, S.E.T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v.11, p.2863-2880, 1998.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T. Variação interdecadal da relação entre eventos El Niño e La Niña e precipitação no Brasil.. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2002.

GUEYMARD, C. Prediction and performance assessment of mean hourly global radiation. **Solar Energy**. v. 68, n. 3, p. 285–303, 2000.

HAMED, K.H.; RAO, A.R. A modified Mann-kendall trend test for autocorrelated data. **Journal of Hydrology**, v.204, p.182-196, 1998.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Climate change 2007: The physical Science Basis – Contribution of Working Group I to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. United Kingdom and New York: Cambridge University, 2007. 989p.

JANSSEN, P.H.M.; HEUBERGER, P.S.C. Calibration of process-oriented models. **Ecological Modelling**, v.83, p.55-56, 1995.

KAYANO, M. T ; ANDREOLI, R. V. **Clima da Região Nordeste do Brasil**. In: I.F.A. I.F.A. CAVALCANTI, N.J. FERREIRA, M.G.A.J. SILVA, M.A.F. da SILVA DIAS. (Org.). Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, v. 1, p. 213-233.

KAYANO, M. T ; ANDREOLI, R. V. **Variabilidade Decenal a Multidecenal**. In: I.F.A. CAVALCANTI, N.J. FERREIRA, M.G.A.J. SILVA, M.A.F. da SILVA DIAS. (Org.). Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, v. 1, p. 375-383.

KAISER, D. P.; Y. QIAN. Decreasing trends in sunshine duration over China for 1954–1998: Indication of increased haze pollution? **Geophysical Research Letters**, v .29, n. 21, 1-4, 2002.

KERR, R. A. Millennium's hottest decade retains its title, for now. **Science**, V.307, p. 828-829, 2005.

LAPERUTA FILHO, J. **Modelos para estimativa da radiação solar global diária e horária em Botucatu – SP**. 1996. 124 f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.

LADOCHY, S.; MEDINA, R.; PATZERT, W. Recent California climate variability: spatial and temporal patterns in temperature trends. *Climate Research*, v. 33, p. 159-169, 2007.

LIANG, F.; XIA, X.A. Long-term trends in solar radiation and the associated climatic factors over China for 1961– 2000. **Annales Geophysicae**, v. 23, p. 1–8, 2005.

LIU, Z.; WU, L.; GALLIMORE, R.; JACOBS, R. Search for the origins of Pacific decadal climate variability, **Geophysical Research Letters**, West Lafayette, v. 29, n. 10, p. 1404, MAIO, 2002.

LIU, X.Y. et al. Calibration of the Ångström–Prescott coefficients (a, b) under different time-scales and their impacts in estimating global solar radiation in the Yellow River basin. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 149, p. 697–710, 2009.

LUND R.; REEVES J. Detection of undocumented changepoints: A revision of the two-phase regression model. **Journal of Climate**, v.15, p. 2547–2554, 2002.

LUTGENS, F.K., TARBUCK, E.J. E TASA D.: **Atmosphere: An Introduction to Meteorology**, 11ª edição, Editora Prentice Hall, 544 pp, 2004.

MANTUA, N. J. et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, n.78, p. 1069-1079, AGO, 1997.

MANTUA, N.J.; HARE S.R. The Pacific Decadal Oscillation. **Journal of Oceanography**, v.58, p.35-44, 2002.

MARQUES, J. R. Q.; STEINMETZ, S.; DINIZ, G.; SIQUEIRA, O.J.; WREGE, M.S.; HERTER, F.; REISSER JUNIOR, C. Aumento da temperatura mínima do ar no Rio Grande do Sul, sua relação com o aquecimento global e possíveis impactos no arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4., REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 26., 2005, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 2005.Vol. 1, p. 224-226.

MARTINEZ – LOZANO, J. A.; TENA, F.; ONRUBIA, J. E.; LA RUBIA, J. The historical evolution of the Ångström formula and its modifications. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 33, p. 109 – 128, 1984.

MASAKI,Y.; KUWAGATA T.; ISHIGOOKA, Y. Precise estimation of hourly global solar radiation for micrometeorological analysis by using data classification and hourly sunshine. **Theoretical and Applied Climatology**, v.100, p.283–297, 2010.

McINTYRE, S.; McKITRICK, R. Corrections to the Mann et. al. (1998) proxy data base and northern hemispheric average temperature series. **Energy & Environment**, v. 14, n. 6, p. 751-771, 2003.

McINTYRE, S.; McKITRICK, R. The M&M Critique of the MBH98 Northern Hemisphere climate index: update and implications. **Energy & Environment**, v. 16, n.1, p. 69-100, 2005a.

McINTYRE, S.; MCKITRICK, R. Hockey sticks, principal components, and spurious significance. **Geophysical Research Letters**, v. 32, L03710, 2005b.

MINOBE, S. Spatio-temporal structure of the pentadecadal variability over the North Pacific. **Progress in Oceanography**, Amsterdam, v. 47, n. 2-4, p. 381-408, OUT, 2000.

MINUZZI, R. B. VIANELLO, R. L. SEDIYAMA, G. C. Oscilações climáticas em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Meteorologia**. São Paulo, v. 25, n. 2, 2010.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3-4, p. 7-24, 2008.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 46p.

MORETTIN, P. A. e TOLOI, C. M. C. , **Análise de Séries Temporais**. 1ª edição, São Paulo: E. Blücher, 2004.

MOTA, F. S. **Meteorologia Agrícola**. São Paulo. Ed: Nobel, 1975. 376p.

NOAA. **ENSO: Cold and warm episodes by season**. On line. Disponível na Internet: [http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/insostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/insostuff/ensoyears.shtml).

Acesso: 20 de março de 2011.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981. 440p.

PAEGLE, J. N.; MO, K. C. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. **Monthly Weather Review**, v. 125, p. 279-290, 1997.

PAMPUCH, L. A. **Investigação do Modo Sul de precipitação**. 2010. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós Graduação em Meteorologia) - Universidade Federal de Santa Maria.

PAULA, G. M.; STRECK, N. A.; ZANON, A. J. ; ELTZ, F. L. F.; HELDWEIN, A. B.; FERRAZ, S. E. T. Influência do fenômeno El Niño na erosividade das chuvas na região de Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1315-1323, 2010.

PENG, S.; HUANG, J.; SHEEHY, J.E.; LAZA, R.C.; VISPERAS, R.M.; ZHONG, X.; CENTENEO, G.S.; KHUSH, G.S.; CASSMAN, K.G. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. **National Academy of Sciences of the USA**, v. 101, n. 27, p. 9971-9975, 2004.

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

PEREIRA, D. C. A.; MENEZES, R. H. N.; LEITE, A. C. Estimativa da Radiação Solar Global para o município de Carolina-Ma. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia 11. 2000. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro. Sociedade Brasileira de Meteorologia. 1 CD ROM.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, A. B.; VRISMAN A. L., GALVANI E. Estimativa da radiação solar global diária em função do potencial de energia solar na superfície do solo. **Scientia Agricola**, São Paulo, v.59, n.2, p.211-216, abr/jun. 2002.

PETERSON, T.C. et al. Homogeneity adjustments of *in situ* atmospheric climate data: a review. **International Journal of Climatology**, v. 18, n. 13, p. 1493-1517, 1998.

PHILANDER, S. G. **El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation**. Academic Press, New York: 1990. 293p.

RICCI, M.S.F.; et al. Efeitos da solarização do solo na densidade populacional da tiririca e na produtividade de hortaliças sob manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.11, p.2175-2179, 2000.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v.15, p. 1606–1626, 1987.

SAHIN, A. D. A new formulation for solar irradiation and sunshine duration estimation. **International Journal of Energy Research**, v.31, p. 109–118, 2007.

SALVADOR, M. A.; LUCIO, P. S.; MOLION, L. C. B. Tendência da Precipitação Anual na Costa Leste do Nordeste do Brasil durante as duas fases da Oscilação Decadal do Pacífico. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia 14., 2006. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis. Sociedade Brasileira de Meteorologia. 1 CD ROM.

SCHNEIDER, F.M.; STRECK, N.A.; BURIOL, G.A. Modificações físicas causadas pela solarização do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.149-157, 1993.

SCHNEIDER, P.R. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. 2.ed. Santa Maria: Ed. UFSM/FACOS, 2009. 294p.

SEN, Z.; OZTOPAL, A.; SAHIN, A. D. Application of genetic algorithm for determination of Ångström equation coefficients. **Energy Conversion e Management**. v.42, p. 217- 231, 2001.

SIEGEL, S. **Estatística não-paramétrica**. Ed. McGraw-Hill, Ltda. São Paulo, 1975, 350 p.

SILVEIRA, P. V.; GAN A. Estudo de tendência das temperaturas mínimas na região sul do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia 14. 2006. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis. Sociedade Brasileira de Meteorologia. 1 CD ROM.

SILVA, R. A. et al . Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, 2010.

SPOKAS, K.; FORCELLA F. Estimating hourly incoming solar radiation from limited meteorological data. **Weed Science**, v. 54, n.1, p.182-189, 2006.

STANHILL, G.; COHEN, S. Solar Radiation Changes in Japan during the 20th Century: Evidence from Sunshine Duration Measurements. **Journal Meteorological Society Japan**, v. 86, p. 57-67, 2008.

STEINMETZ, S.; PINHEIRO, M.J.; FERREIRA, J.S.A.; DEIBLER, A.N. Aumento da temperatura mínima do ar na região de Pelotas, sua relação com o aquecimento global e possíveis conseqüências para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14., 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2005. 1 CD-ROM. (Trabalho completo)

STRECK, N.A.; SCHNEIDER, F.M.; BURIOL, G.A. Efeito da largura do “mulch” na solarização do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.3, p.25-29, 1995.

STRECK, N. A. et al. O fenômeno El Niño Oscilação Sul e a variabilidade interanual da evaporação do tanque Classe A e da umidade relativa do ar em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 1452-1455, Ago, 2008.

STRECK, N.A.; BURIOL, G.A.; HELDWEIN, A.B.; GABRIEL, L.F.; PAULA, G.M. Associação da variabilidade da precipitação pluvial em Santa Maria com a Oscilação Decadal do Pacífico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1553-1561, 2009.

STRECK, N. A. et al. Tendência temporal da temperatura mínima de relva em Santa Maria, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. **Anais...** Belém, Sociedade Brasileira Meteorologia, 2010. 1 CDROM.

STRECK, N. A.; GABRIEL, L. F.; HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; PAULA, G. M. Temperatura mínima de relva em Santa Maria, RS: climatologia, variabilidade interanual e tendência histórica. **Bragantia**, v. 70, p. 696-702, 2011.

STUHLMANN, R.; RIELAND, M.; RASCHKE, E. An improvement of the IGMK model to derive total and diffuse solar radiation at the surface from satellite data. **Journal Applied Meteorology**, v. 29, p. 509-513, 1990.

SUEHRCKE, H. On the relationship between duration of sunshine and solar radiation on the earth's surface: Ångström Equation Revisited. **Solar Energy**. v. 68, n. 5, p. 417-425, 2000.

SYRAKOVA, M.; STEFANOVA, M. Homogenization Of Bulgarian Temperature Series. **International Journal of Climatology**, v. 29, n. 12, p. 1835-1849, 2009.

TAO, F.; YOKOZAWA, M.; XU, Y.; HAYASHI, Y.; ZHANG, Z. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981-2000. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 138, n. 1-4, p. 82-92, 2006.

UEYAMA, H. Estimating hourly direct and diffuse solar radiation for the compilation of solar radiation distribution maps. **Journal Agricultural Meteorology**, v.61 n.4, p.207–216, 2005.

VALIATI, M. I.; RICIERY, R. P. Estimativa da irradiação solar global com partição mensal e sazonal para a região de Cascavel - PR. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, 2005.

VAREJÃO – SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**, Recife, 2006. Versão digital 2. [http://www.agritempo.gov.br/tmp/Meteorologia\\_Climatologia.pdf](http://www.agritempo.gov.br/tmp/Meteorologia_Climatologia.pdf).

Von STORCH, H. et al. Reconstructing Past Climate from Noisy Data. **Science**, Washington, v. 306, p. 679-682, out. 2004.

YANG, K.; HUANG, G. W.; TAMAI, N. A Hybrid Model For Estimating Global Solar Radiation. **Solar Energy**, v. 70, n. 1, p. 13–22, 2001.

YANG, K.; KOIKE, T.; Ye, BAISHENG. Improving estimation of hourly, daily, and monthly solar radiation by importing global data sets. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 137,p. 43–55, 2006.

YANG, Y. H. ZHAO,N. HAO X. H.; LI C. Q. Decreasing trend of sunshine hours and related driving forces in North China. **Theoretical And Applied Climatology**, v. 97, n. 1-2, p.91-98, 2009.

YORUKOGLU, M.; CELIK, A.N. A critical review on the estimation of daily global solar radiation from sunshine duration. **Energy Conversion and Management**, v.47, p. 2441–2450, 2006.

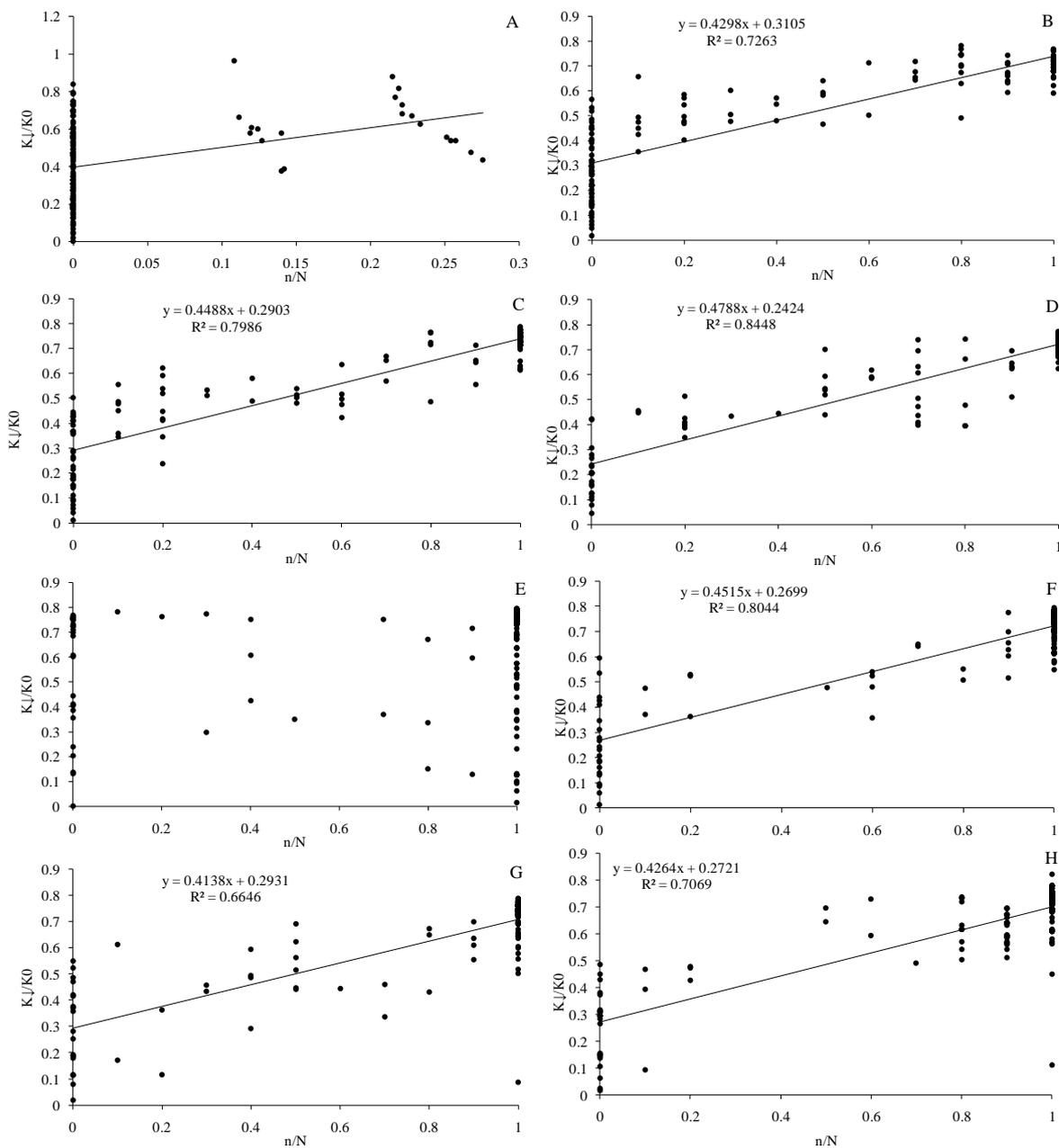
YUE, P. S.; YANG, T. C.; WU, C. K. Impact of climate change on water resources in southern Taiwan. **Journal of Hydrology**, v.260, p.161-175, 2002.

WANG, Y.; ZHANG, L. Relationship between global solar radiation and sunshine duration for Northwest China. **International Journal of the Physical Sciences**, v. 5(7), p. 1023-1033, 2010.

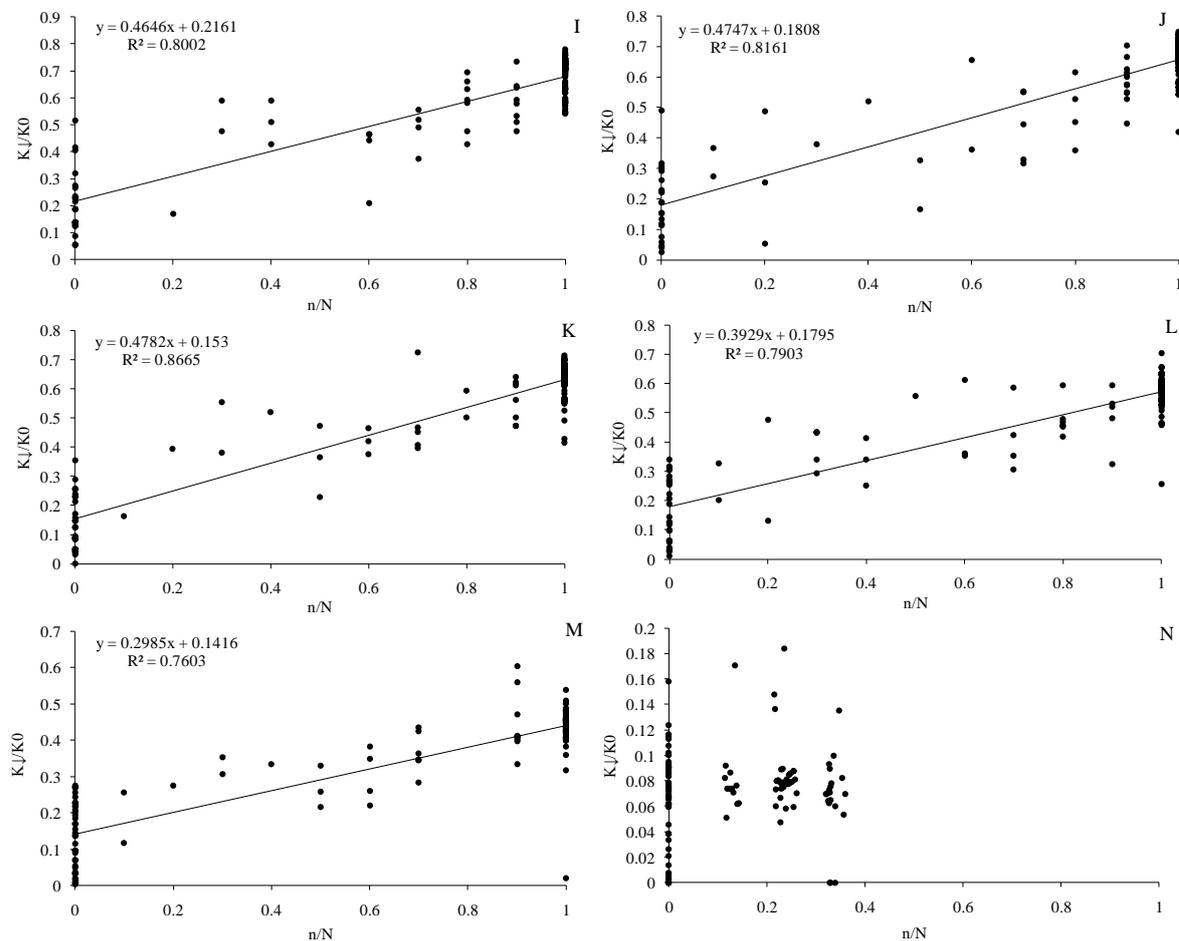
WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. Academic Press, 467 pp, 1995.

## 7 APÊNDICE

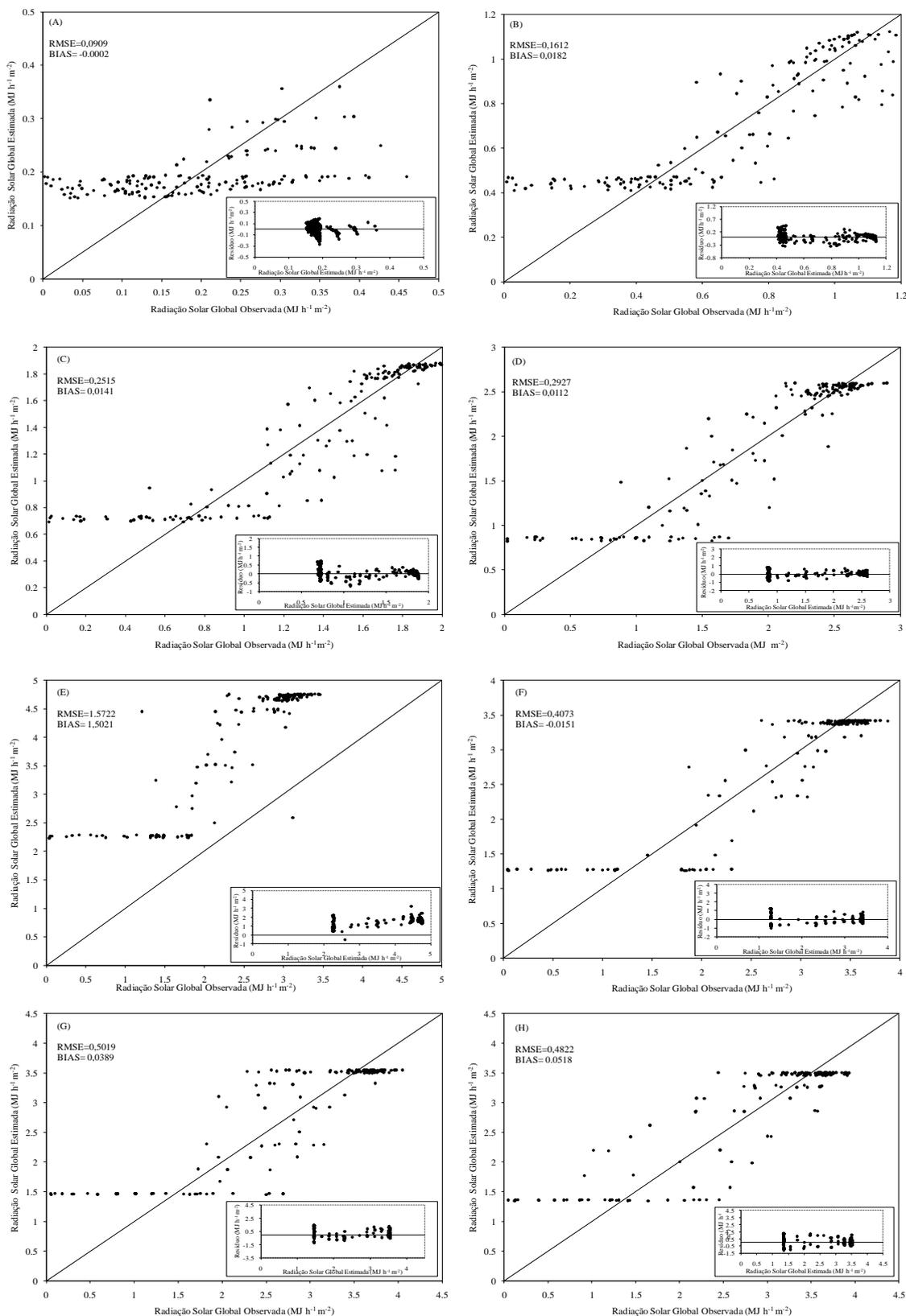
**Apêndice A** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de janeiro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 6h, (B) das 6 às 7 h, (C) das 7 às 8h, (D) das 8 às 9h, (E) das 9 às 10h, (F) das 10 às 11h, (G) das 11 as 12h e (H) das 12 às 13h.



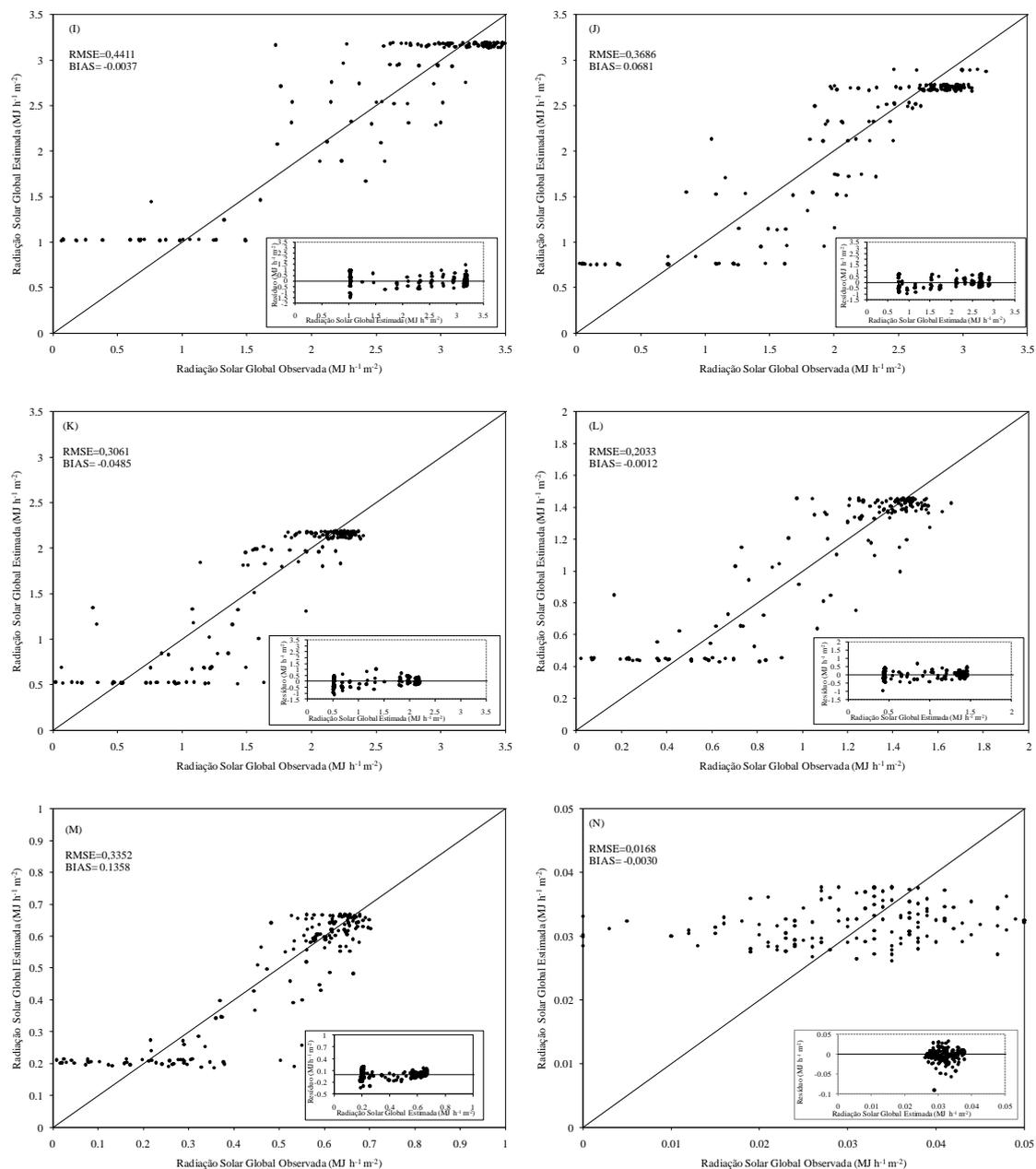
**Apêndice B** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de janeiro em Santa Maria, RS. (I) das 13 às 14h, (J) das 14 às 15 h, (K) das 15 às 16h, (L) das 16 às 17h, (M) das 17 às 18h e (N) das 18 ao pôr do sol.



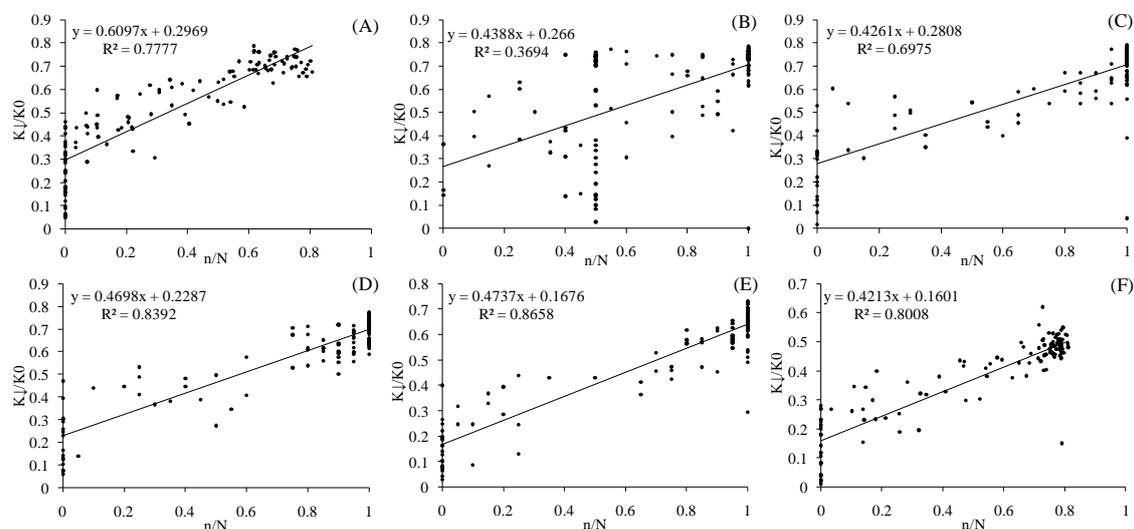
**Apêndice C** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de janeiro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 6h, (B) das 6 às 7 h, (C) das 7 às 8h, (D) das 8 às 9h, (E) das 9 às 10h, (F) das 10 às 11h, (G) das 11 às 12h e (H) das 12 às 13h.



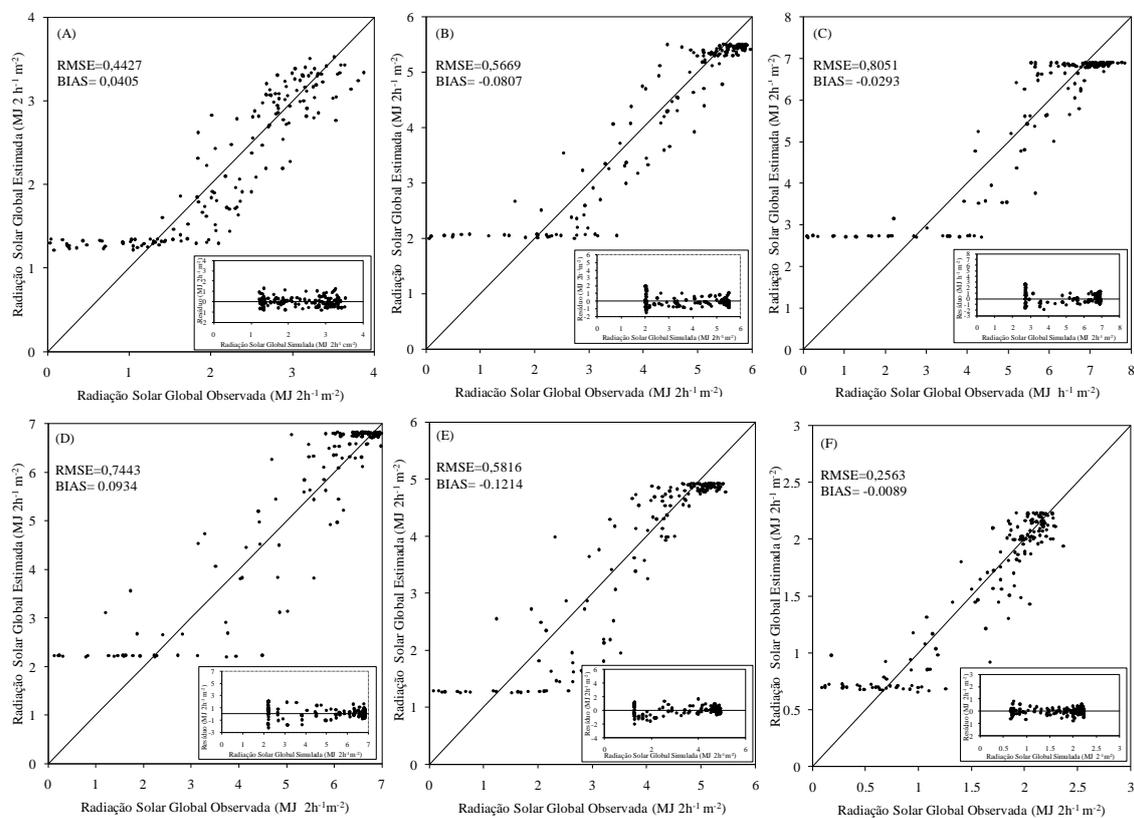
**Apêndice D** – Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de janeiro em Santa Maria, RS. (I) das 13 as 14h, (J) das 14 as 15 h, (K) das 15 as 16h, (L) das 16 as 17h, (M) das 17 as 18h e (N) das 18 ao pôr do sol.



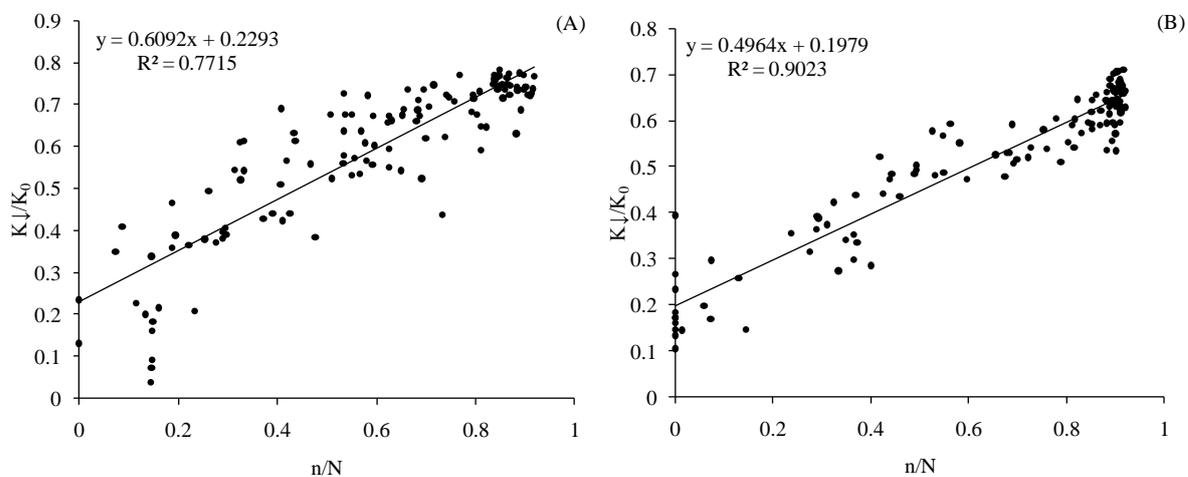
**Apêndice E** - Equações da estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de janeiro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



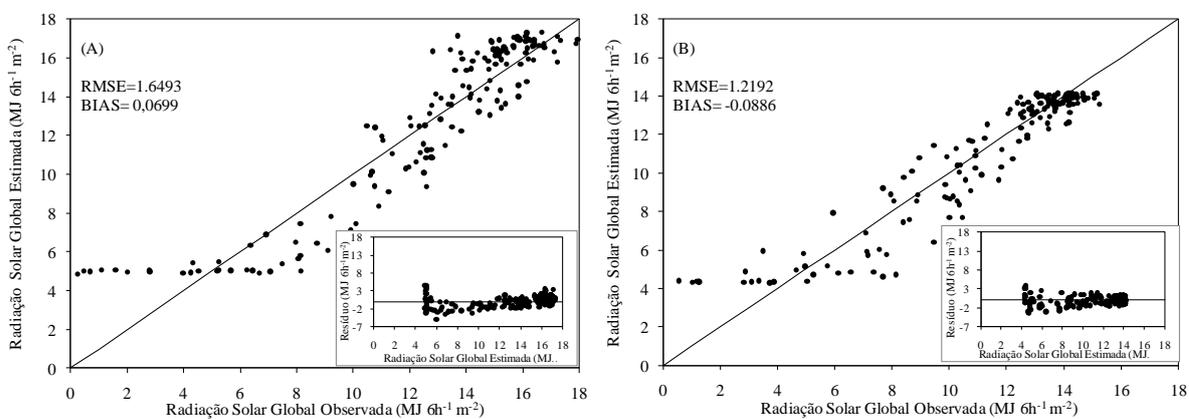
**Apêndice F** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de janeiro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



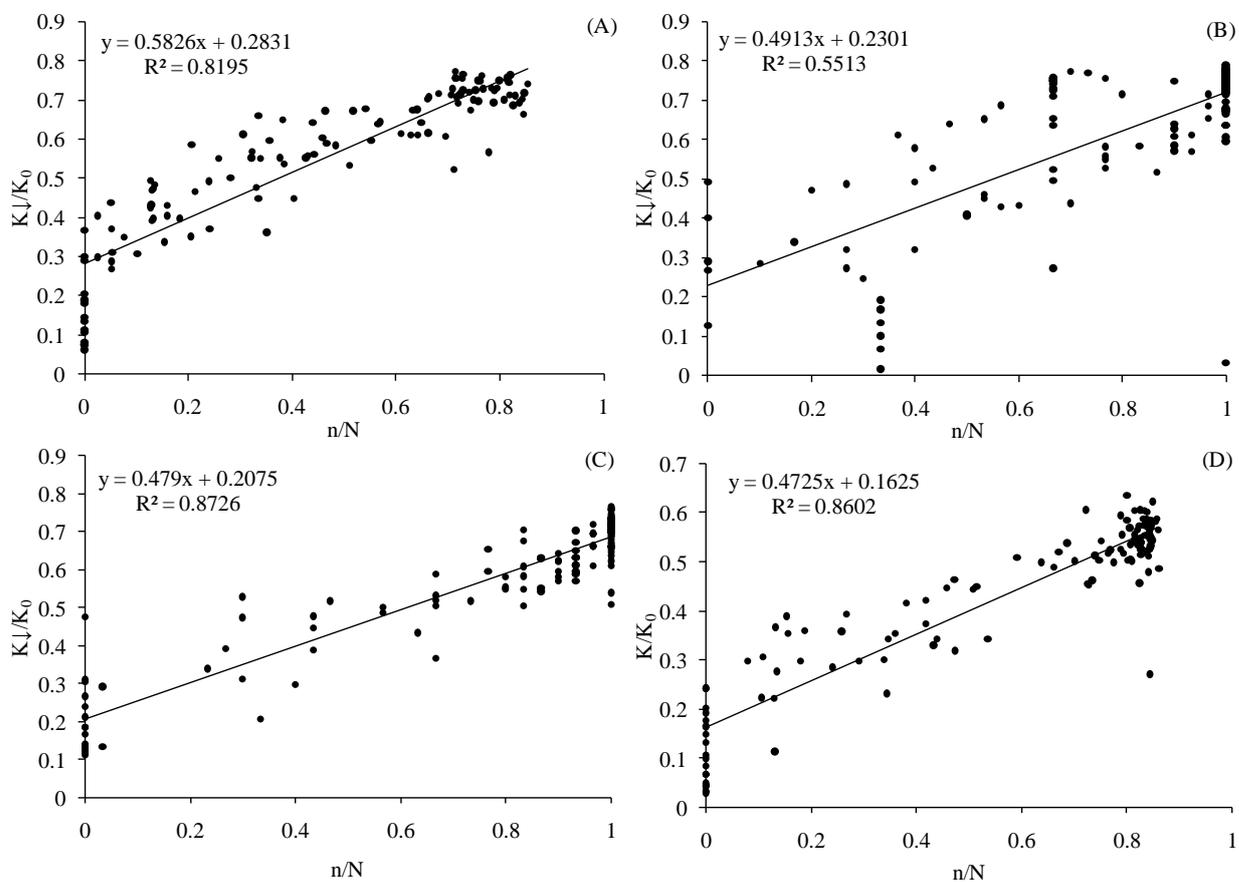
**Apêndice G** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã e da tarde no mês de janeiro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



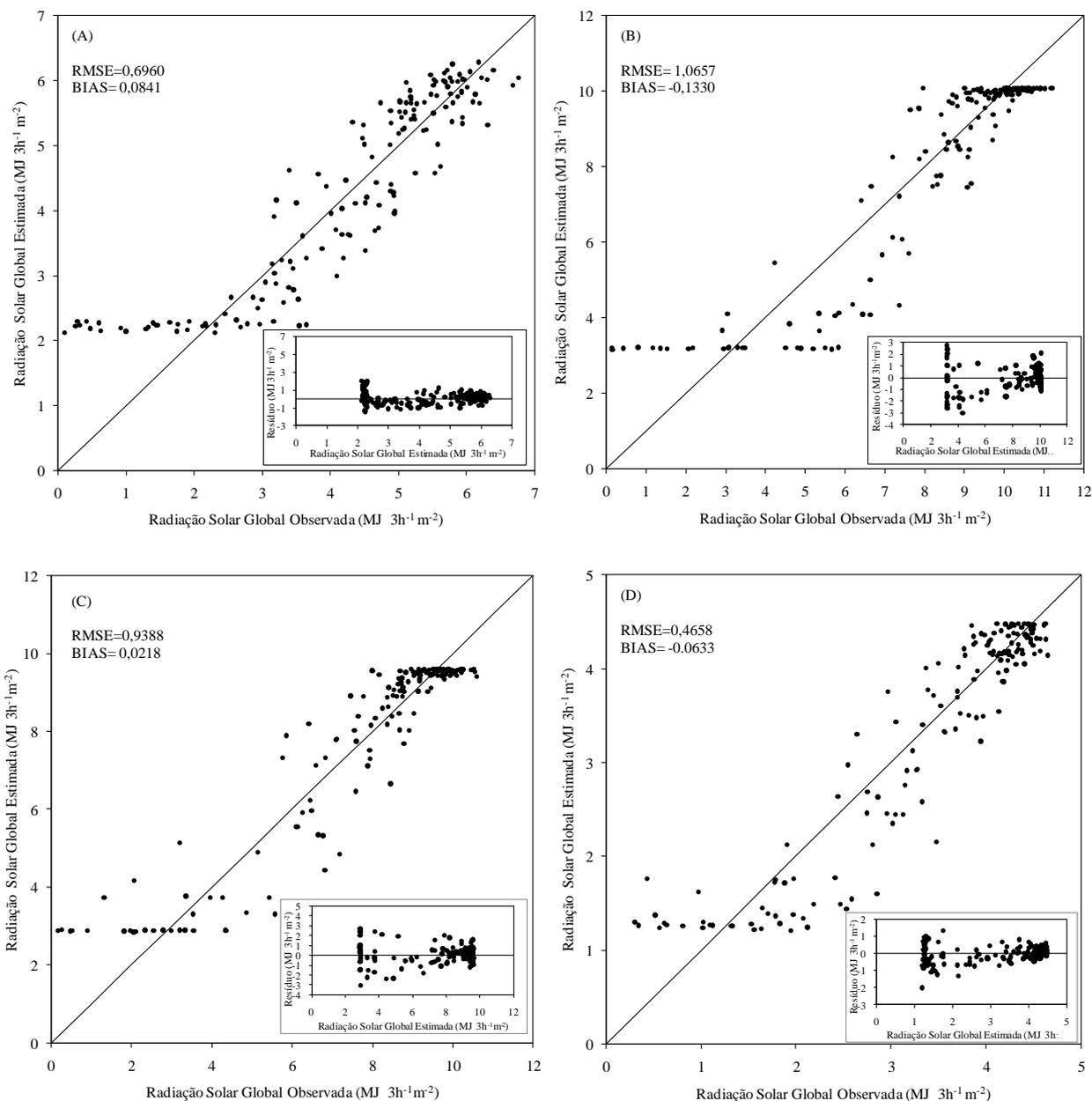
**Apêndice H** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global global no período do dia, manhã e tarde no mês de janeiro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



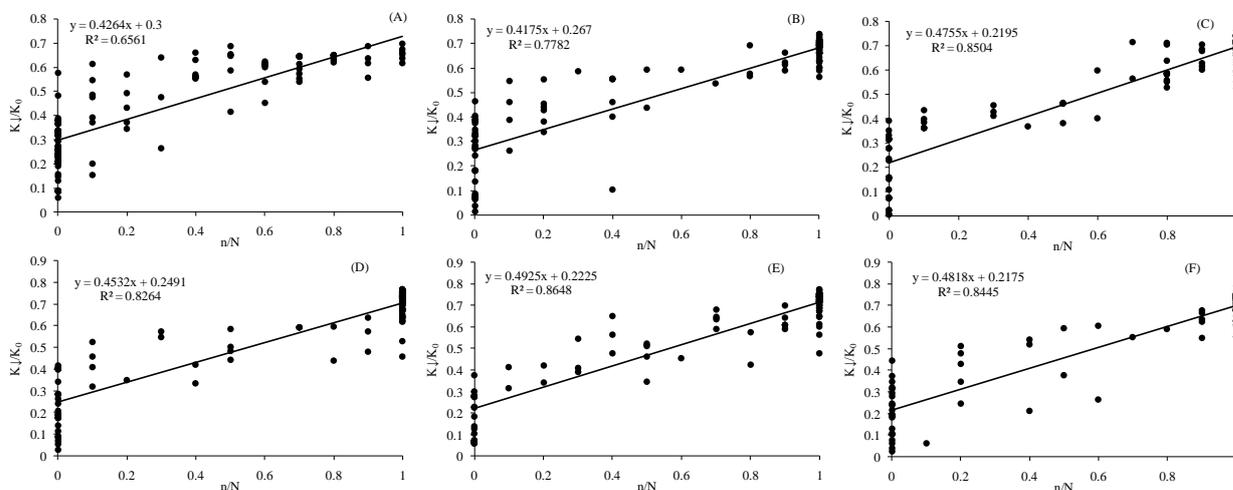
**Apêndice I** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã1 e manhã2 e da tarde1 e tarde2 no mês de janeiro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



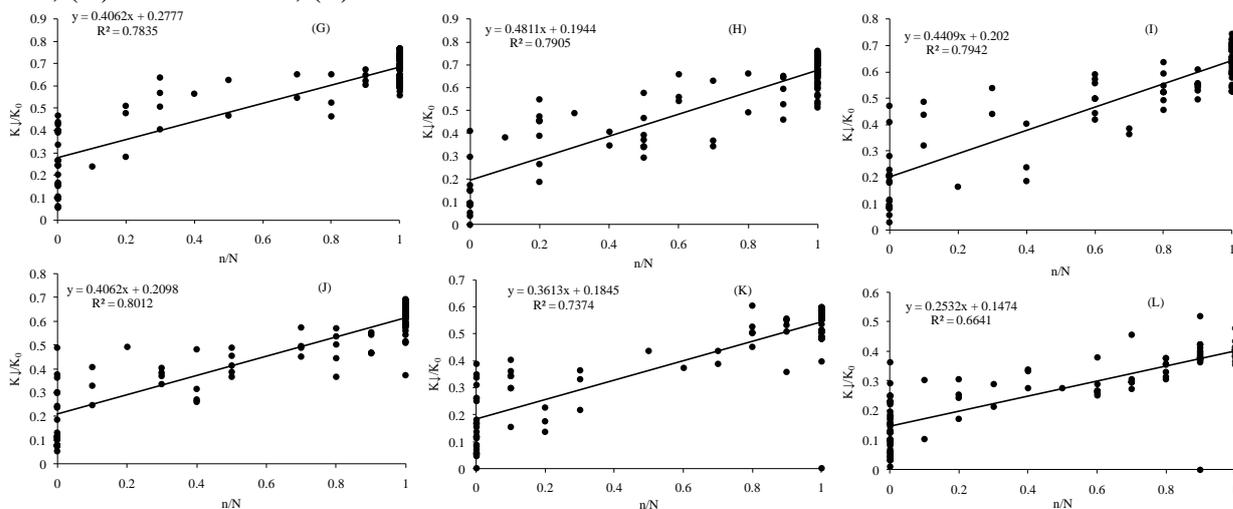
**Apêndice J** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global global no período do dia da manhã1, manhã2, da tarde1 e tarde2 no mês de janeiro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



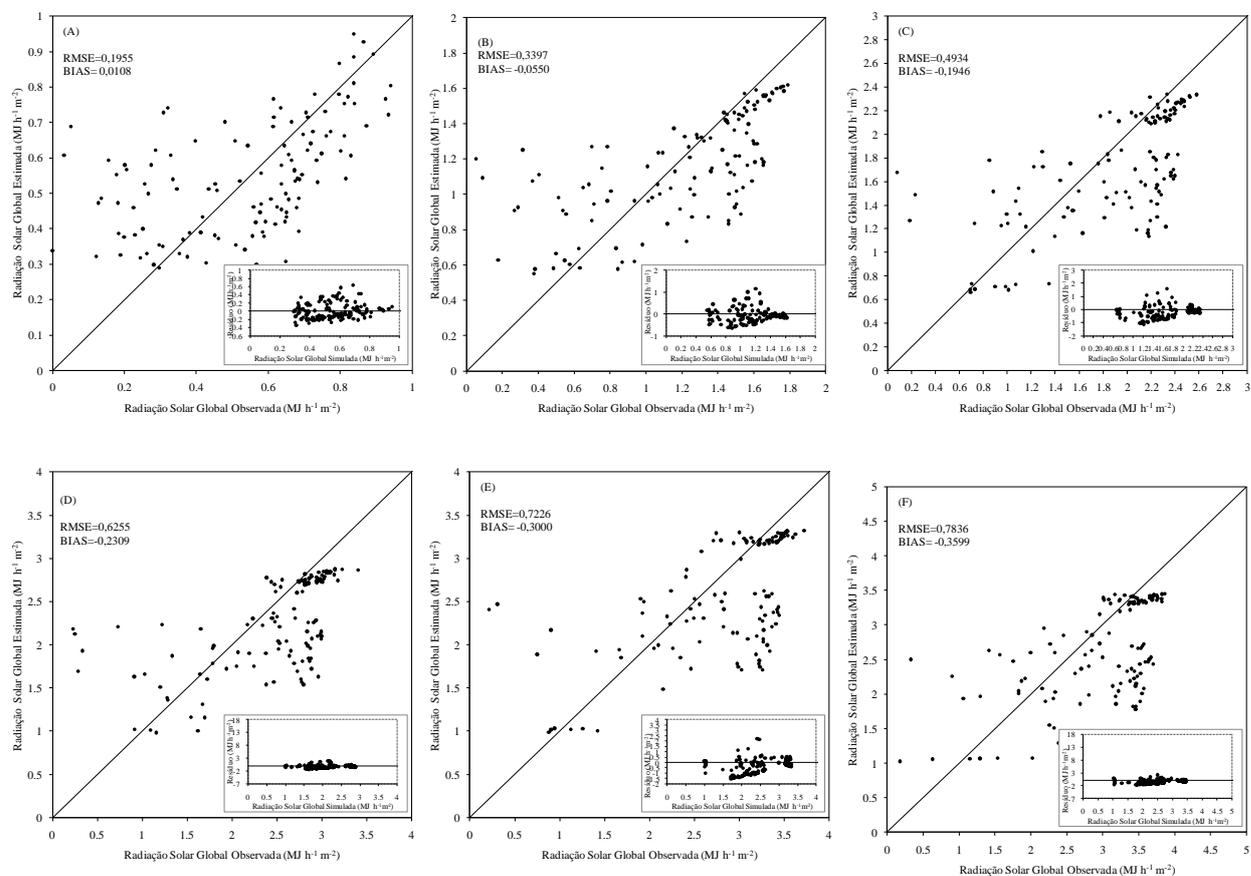
**Apêndice K** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de fevereiro em Santa Maria, RS. (A) das 6 às 7 h, (B) das 7 às 8h, (C) das 8 às 9h, (D) das 9 às 10h, (E) das 10 às 11h e (F) das 11 às 12h.



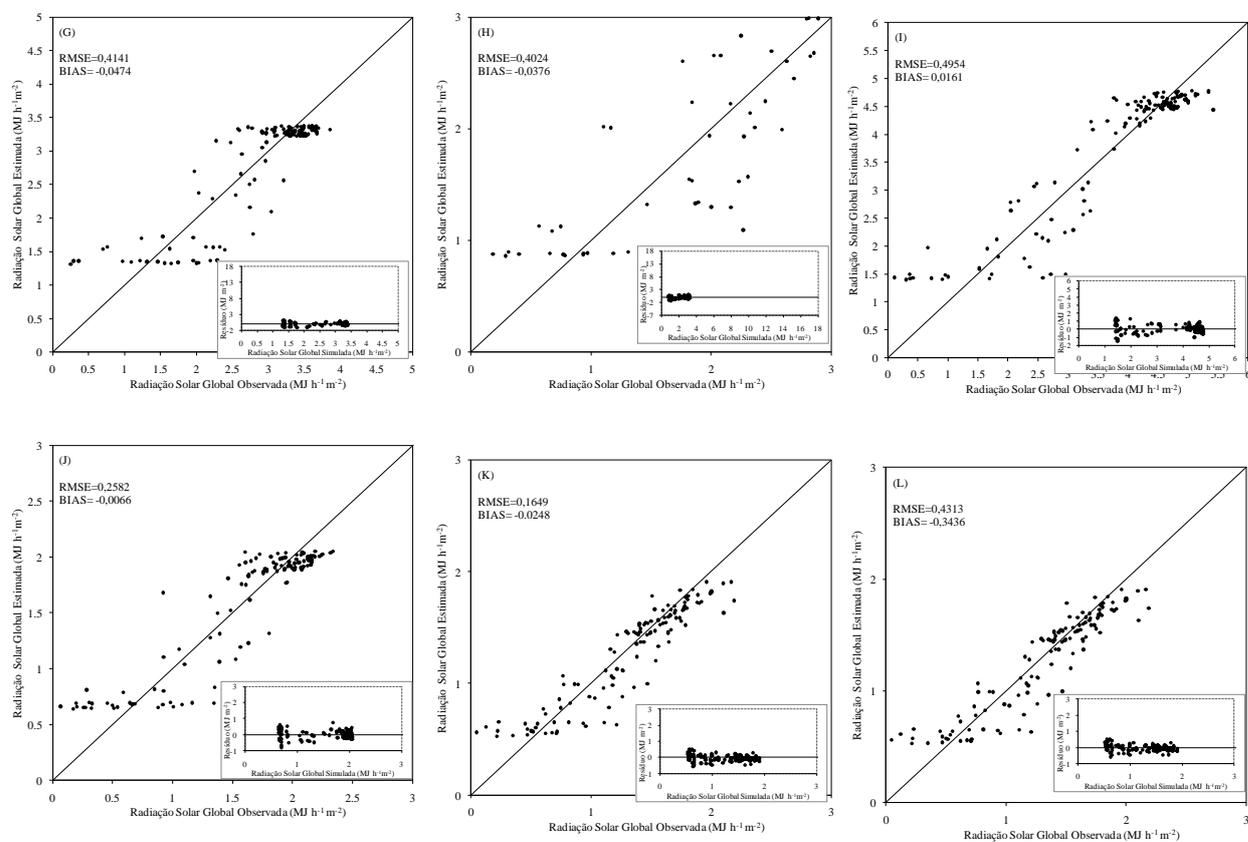
**Apêndice L** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de fevereiro em Santa Maria, RS. (G) das 12 às 13h (H) das 13 às 14h, (I) das 14 às 15 h, (J) das 15 às 16h, (K) das 16 às 17h, (L) das 17 às 18h.



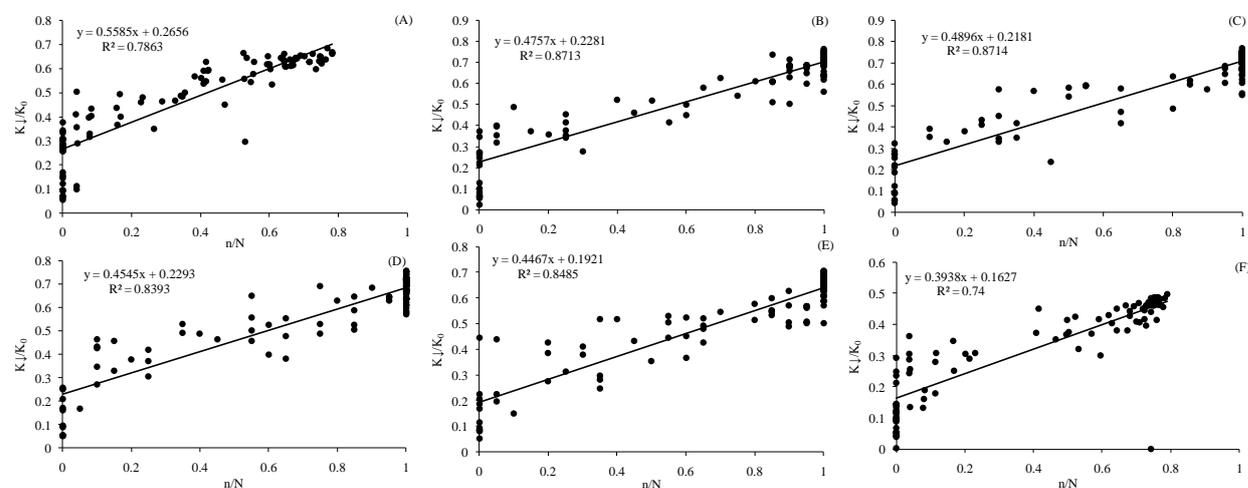
**Apêndice M -** Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de fevereiro em Santa Maria, RS. (A) das 6 as 7 h, (B) das 7 as 8h, (C) das 8 as 9h, (D) das 9 as 10h, (E) das 10 as 11h e (F) das 11 as 12h.



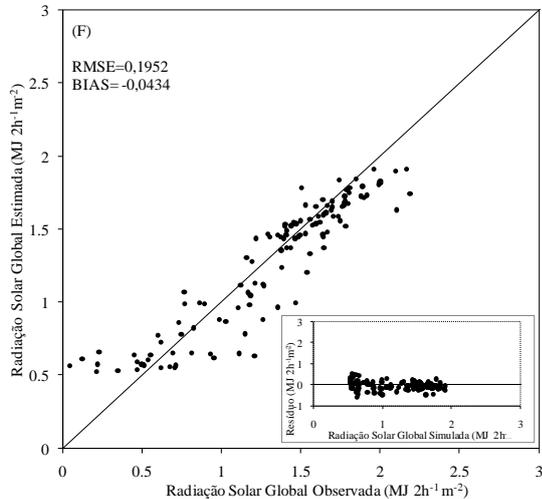
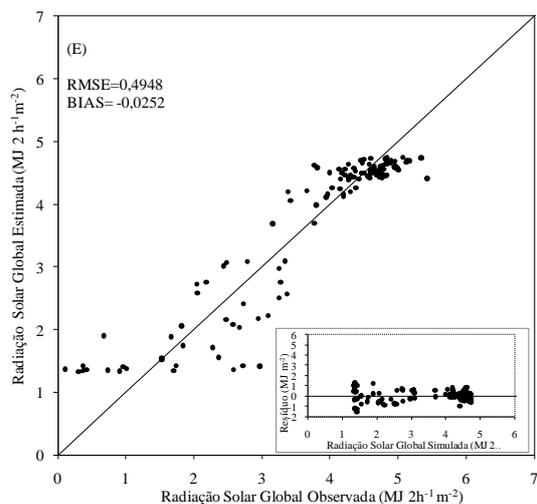
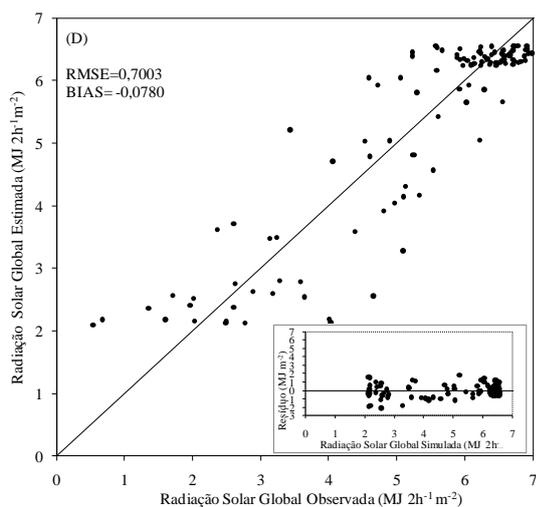
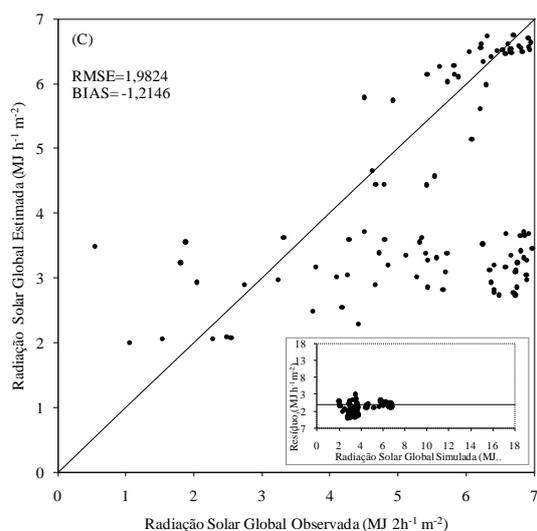
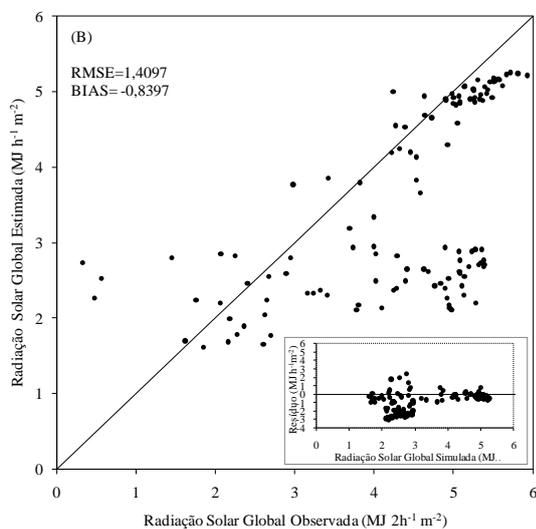
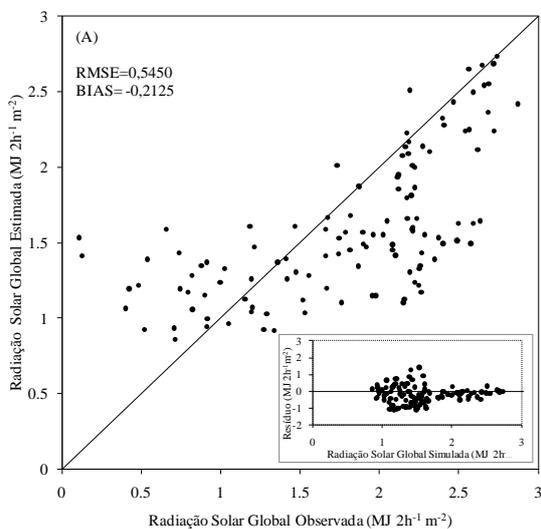
**Apêndice N – Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de fevereiro em Santa Maria, RS. (G) das 12 às 13h (H) das 13 às 14h, (I) das 14 às 15 h, (J) das 15 às 16h, (K) das 16 às 17h, (L) das 17 às 18h.**



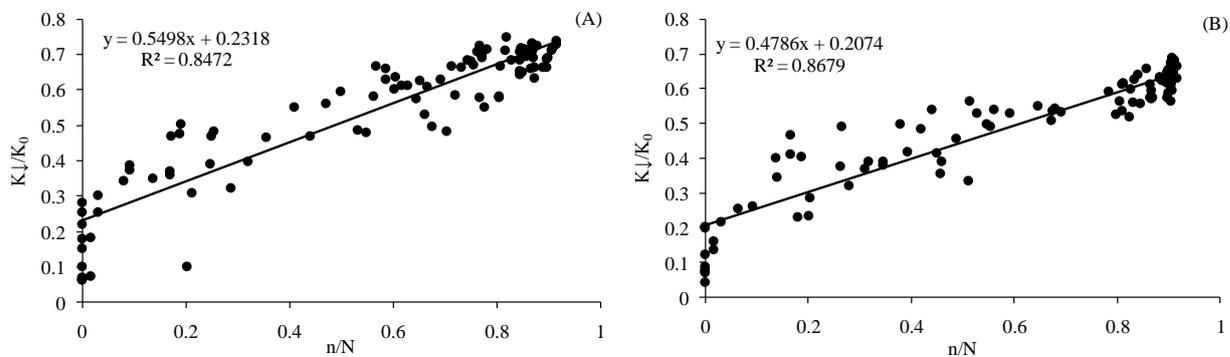
**Apêndice O - Equações da estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de fevereiro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.**



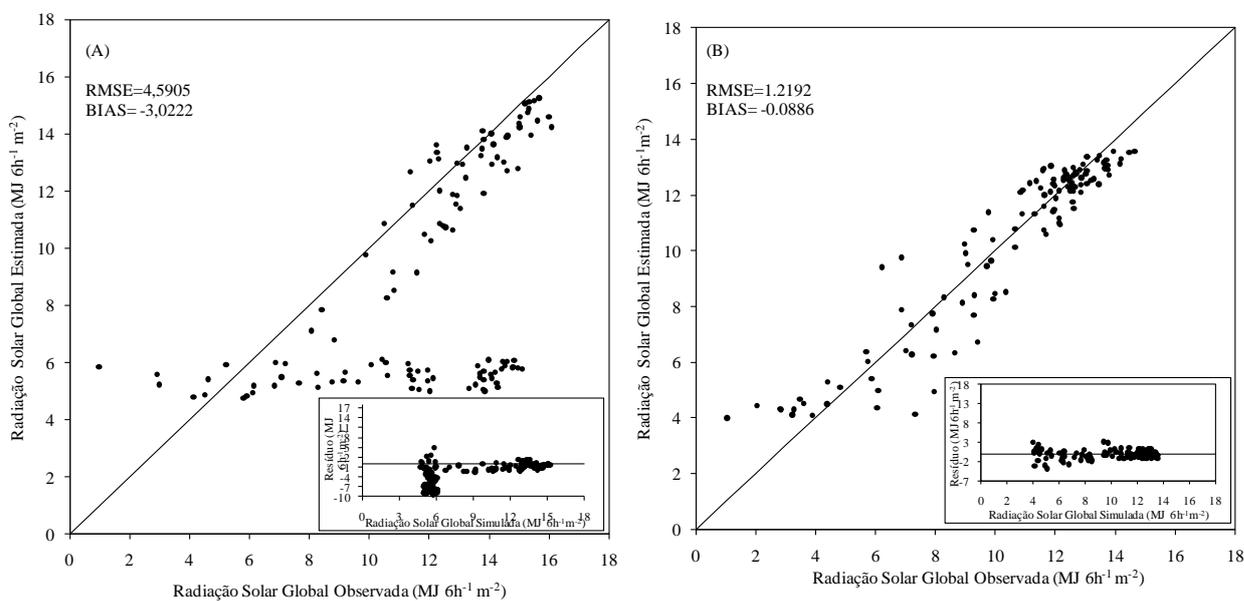
**Apêndice P** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de fevereiro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol as 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



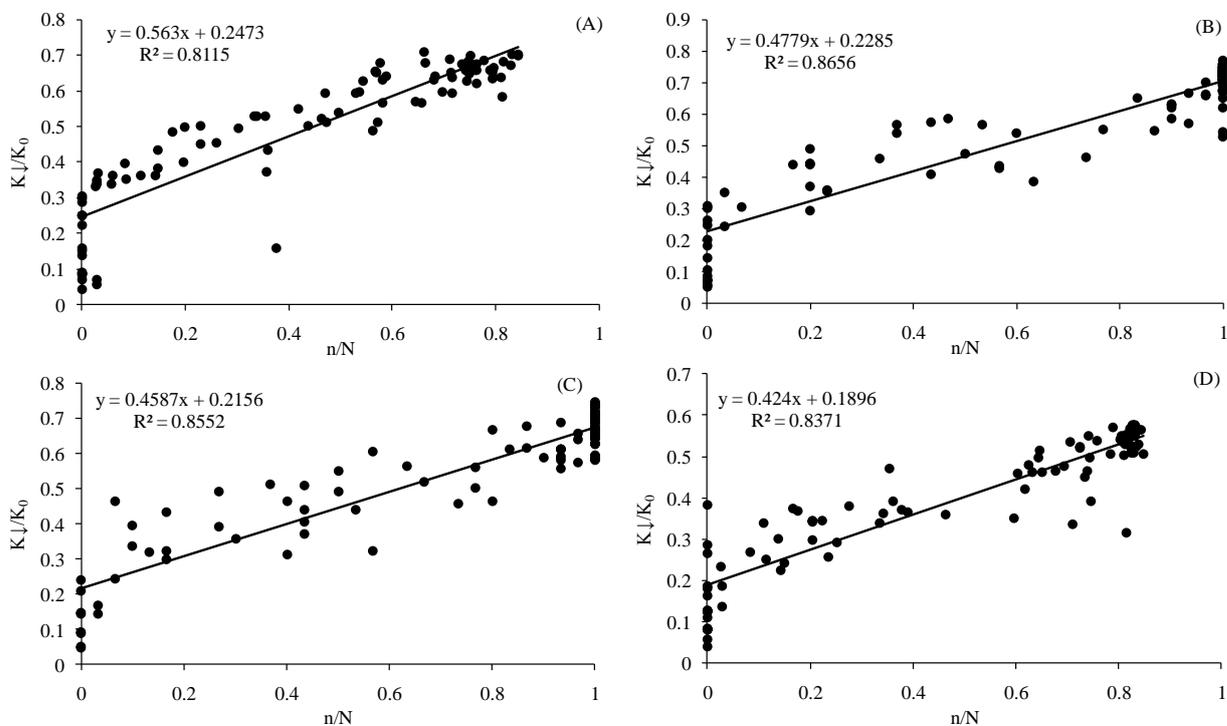
**Apêndice Q** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã e da tarde no mês de fevereiro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



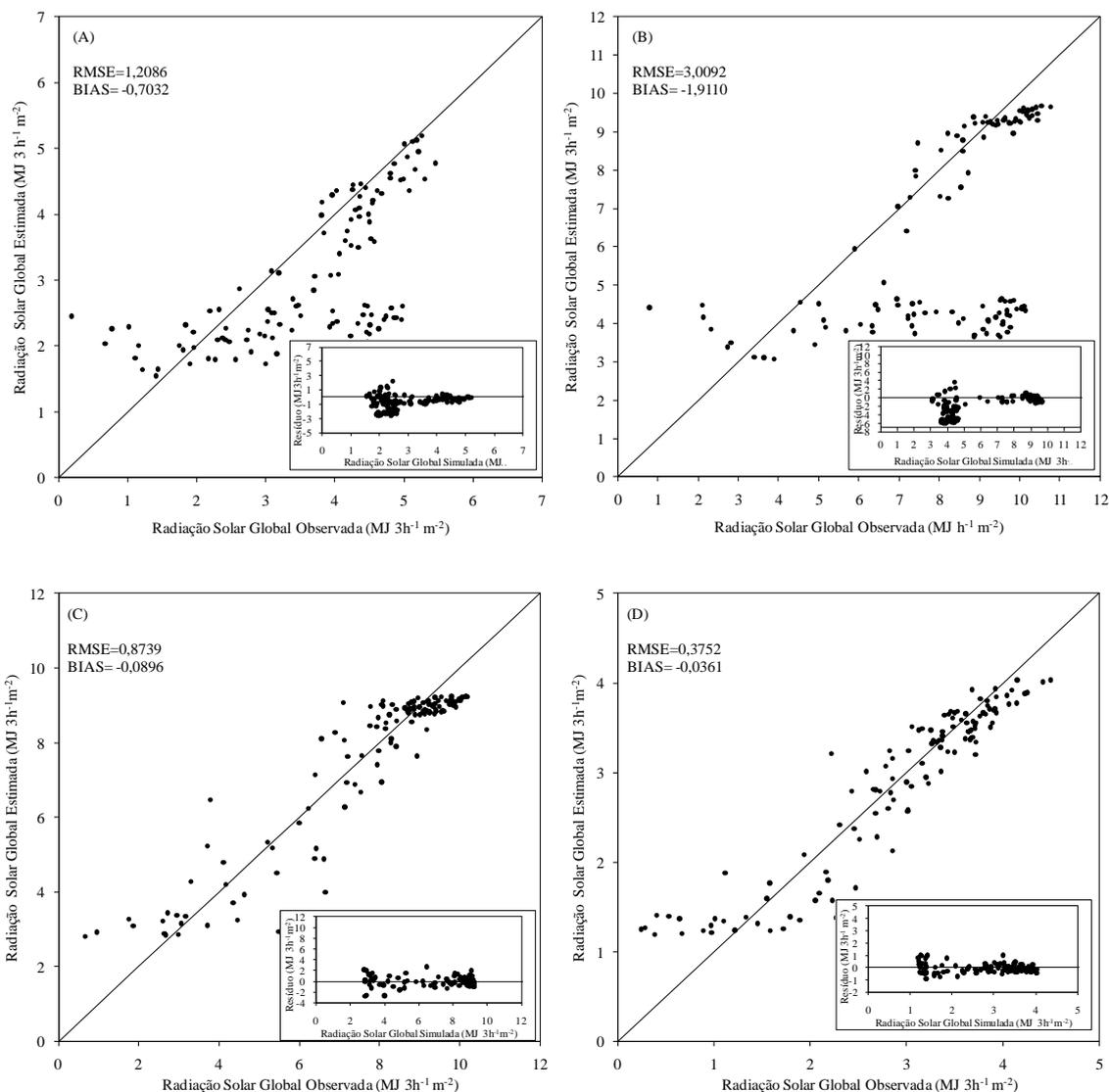
**Apêndice R** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global global no período do dia, manhã e tarde no mês de fevereiro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol as 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



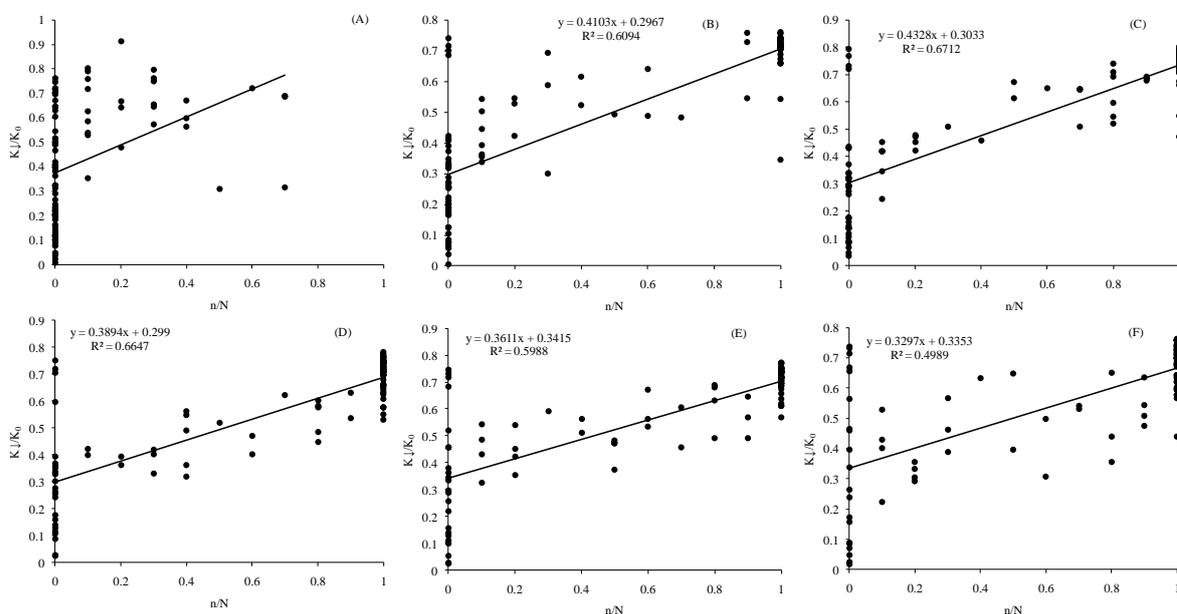
**Apêndice S** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã1 e manhã2 e da tarde1 e tarde2 no mês de fevereiro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 as 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



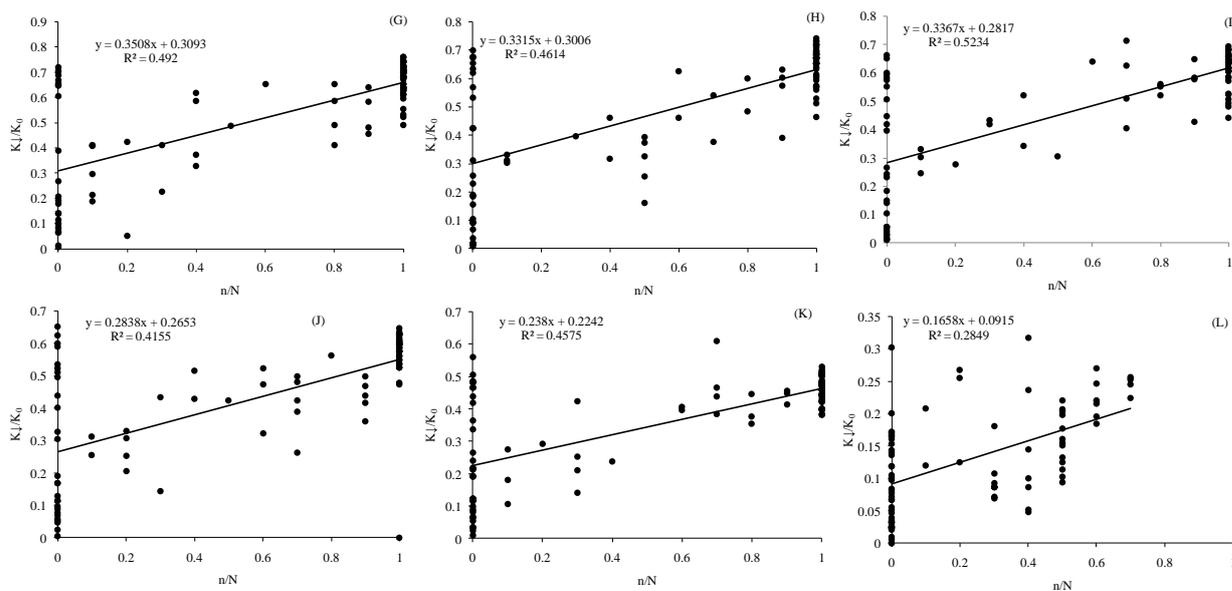
**Apêndice T-** Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global global no período do dia da manhã1, manhã2, da tarde1 e tarde2 no mês de fevereiro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



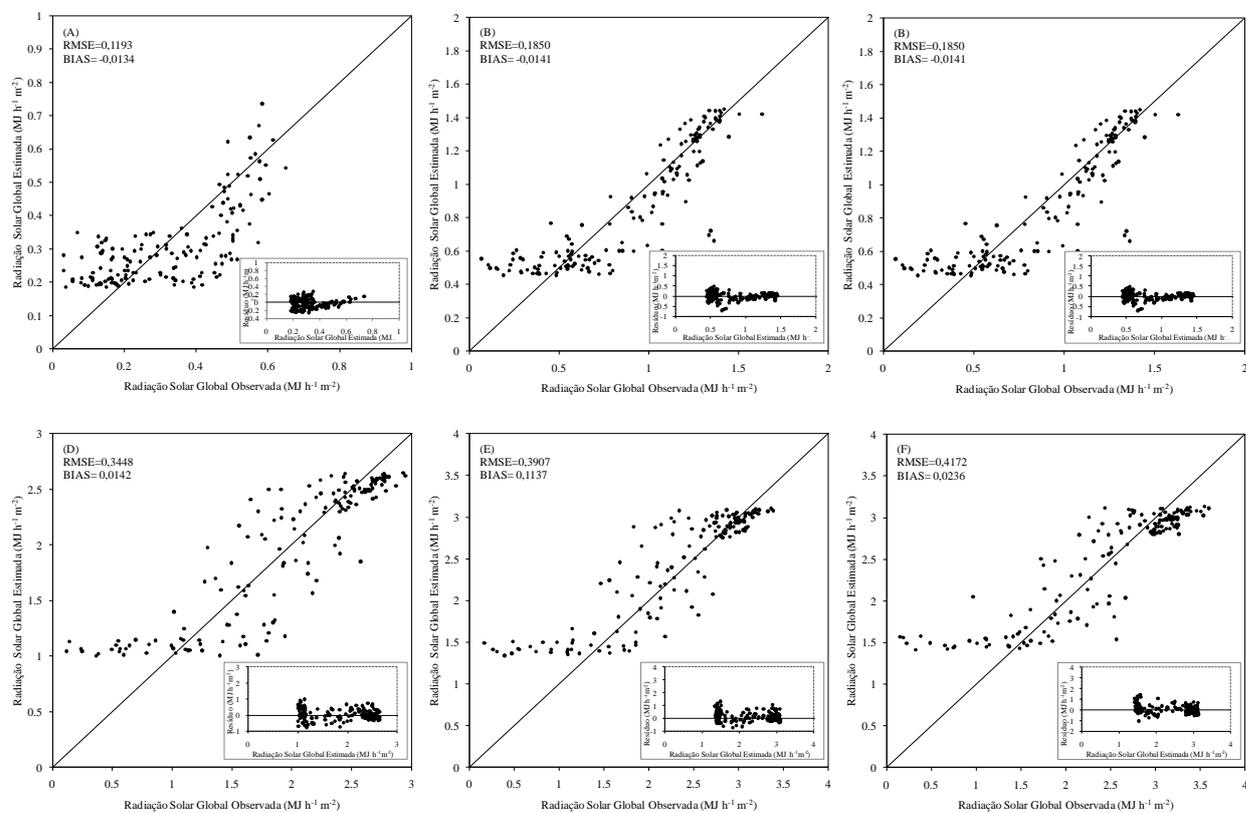
**Apêndice U** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de março em Santa Maria, RS. (A) das 6 às 7 h, (B) das 7 às 8h, (C) das 8 às 9h, (D) das 9 às 10h, (E) das 10 às 11h e (F) das 11 às 12h.



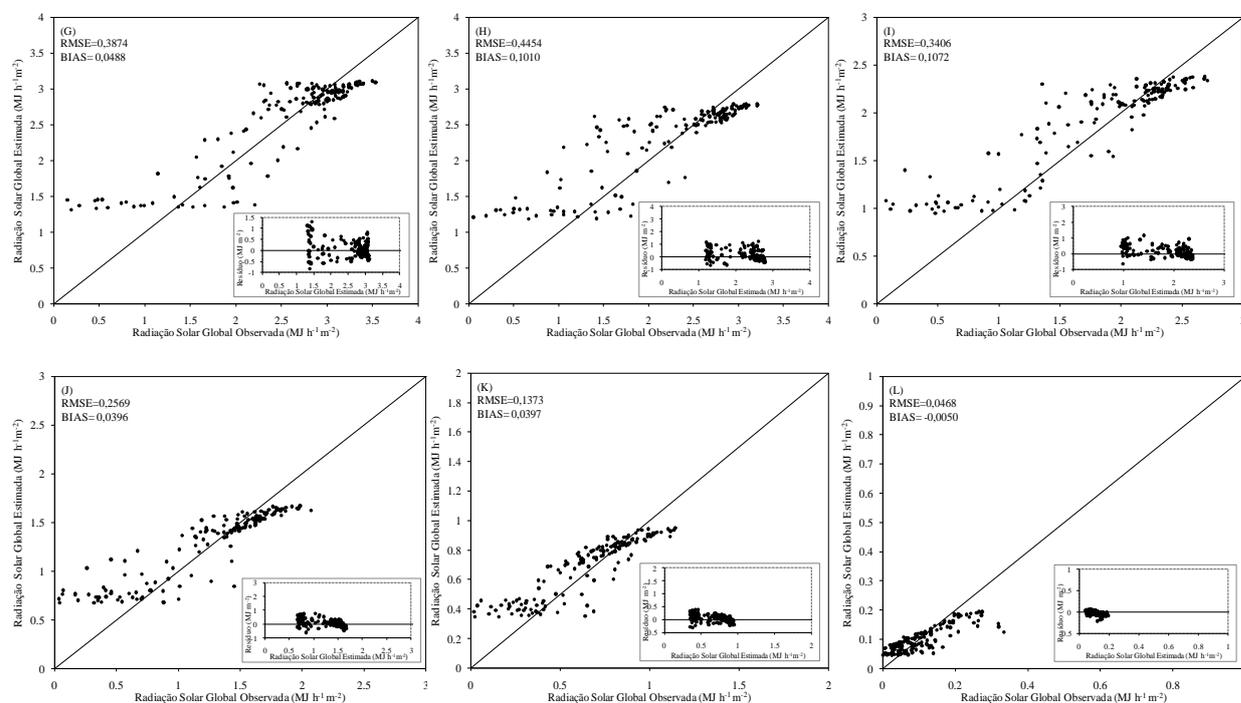
**Apêndice V** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de março em Santa Maria, RS. (G) das 12 às 13h (H) das 13 às 14h, (I) das 14 às 15 h, (J) das 15 às 16h, (K) das 16 às 17h, (L) das 17 às 18h.



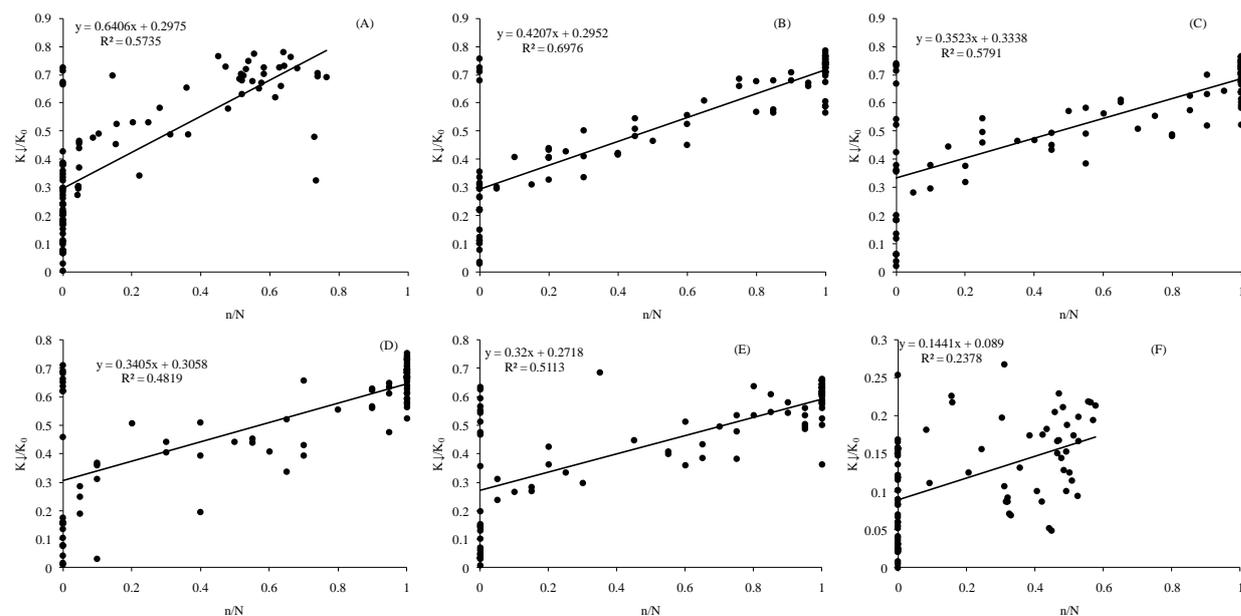
**Apêndice W** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de março em Santa Maria, RS. (A) das 6 às 7 h, (B) das 7 às 8h, (C) das 8 às 9h, (D) das 9 às 10h, (E) das 10 às 11h e (F) das 11 às 12h.



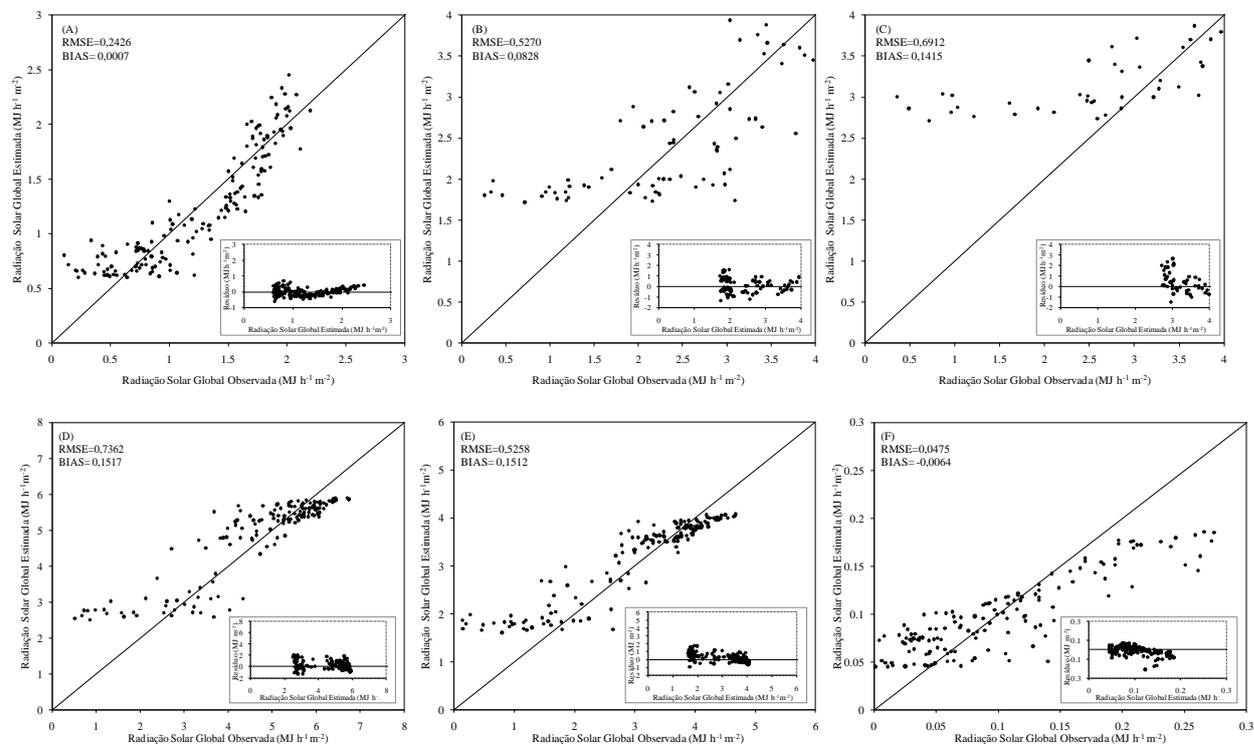
**Apêndice X** – Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de fevereiro em Santa Maria, RS. (G) das 12 às 13h (H) das 13 às 14h, (I) das 14 às 15 h, (J) das 15 às 16h, (K) das 16 às 17h, (L) das 17 às 18h.



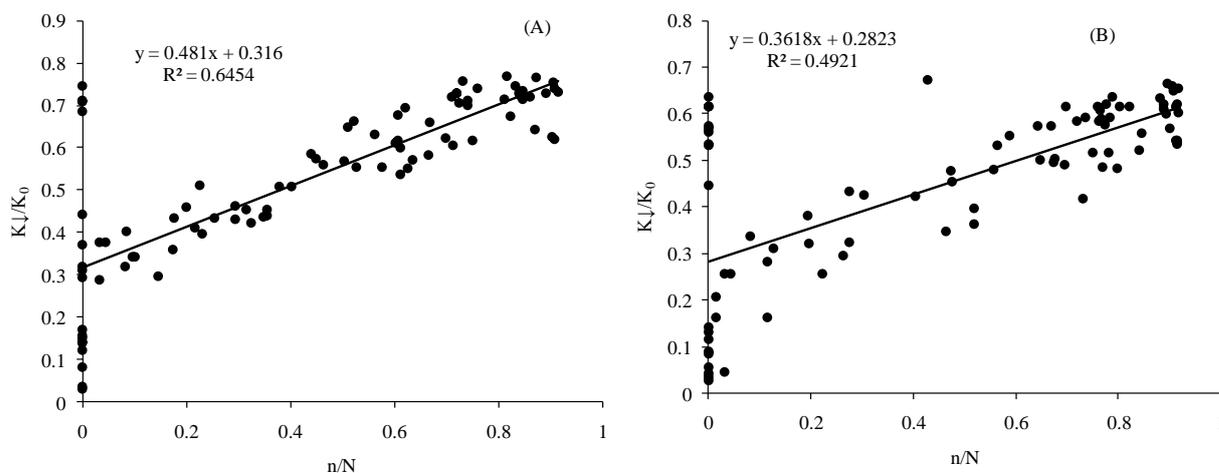
**Apêndice Y** - Equações da estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de março em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol as 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



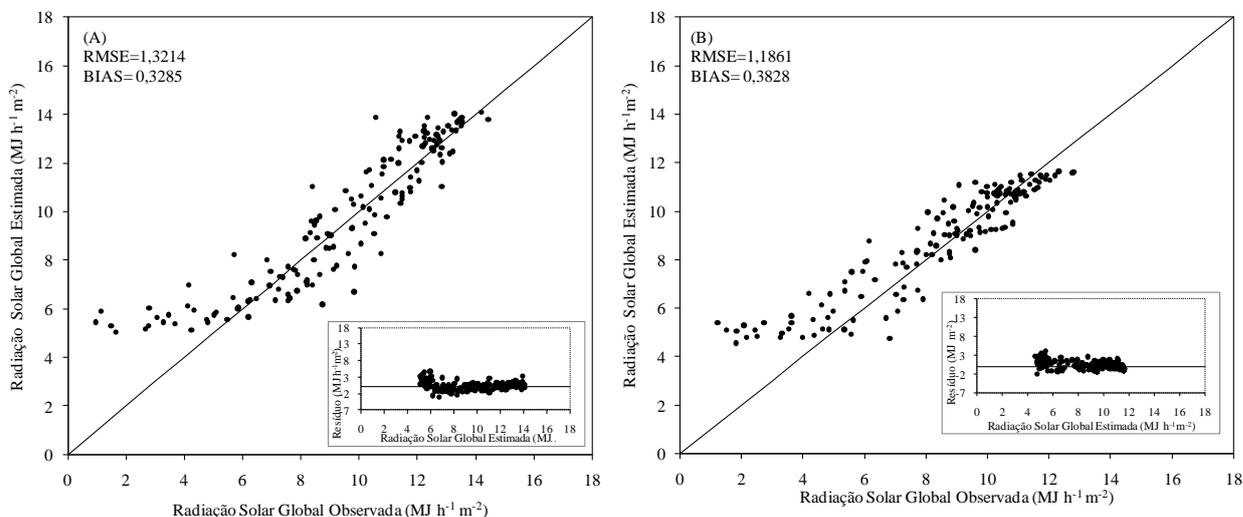
**Apêndice Z** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de março em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



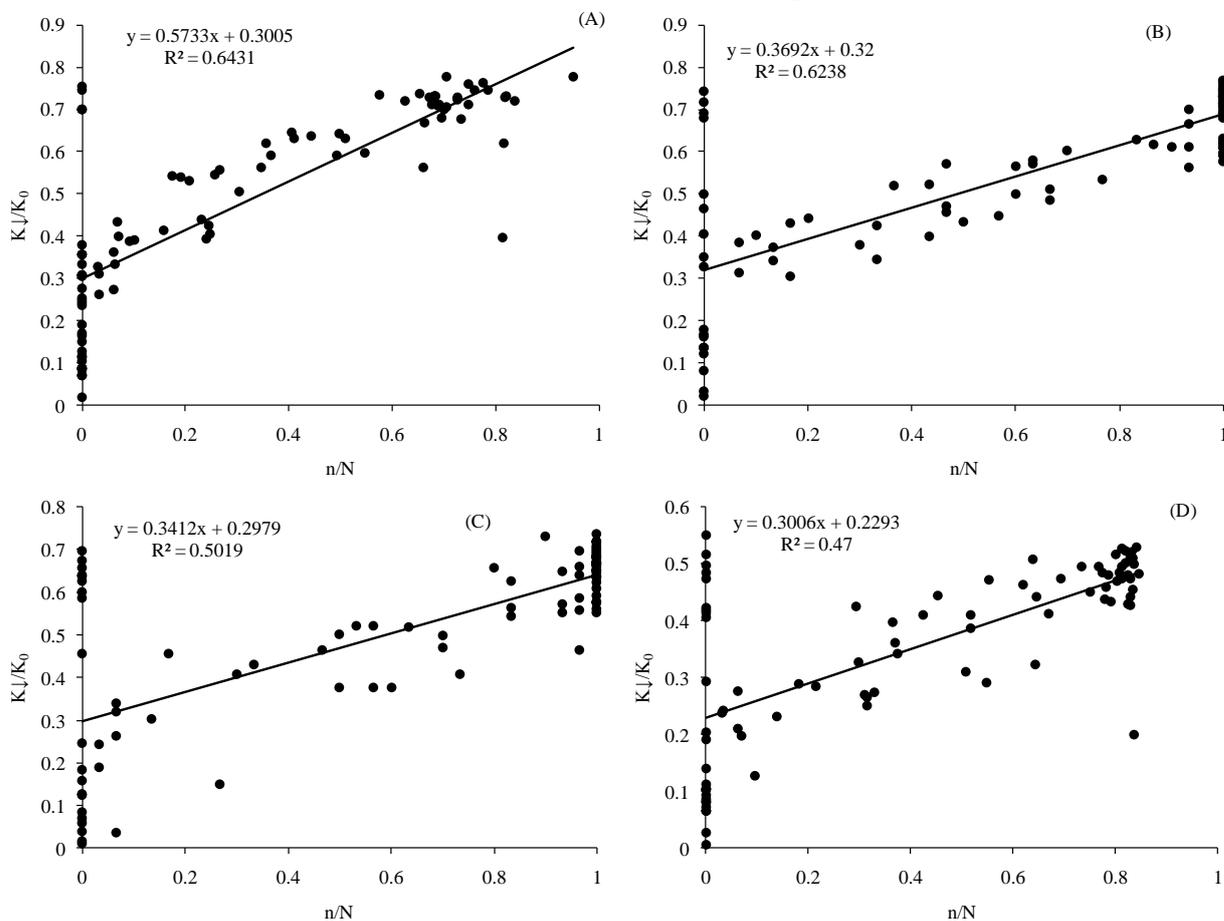
**Apêndice AA** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã e da tarde no mês de março em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



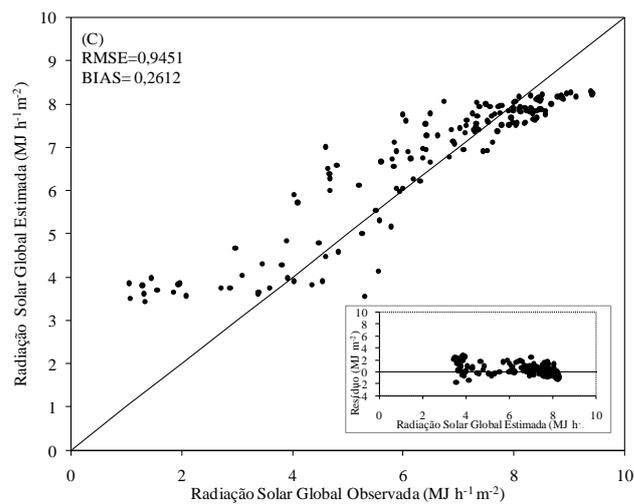
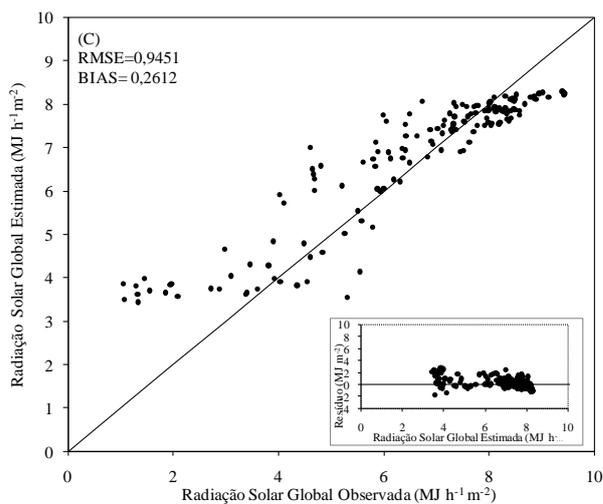
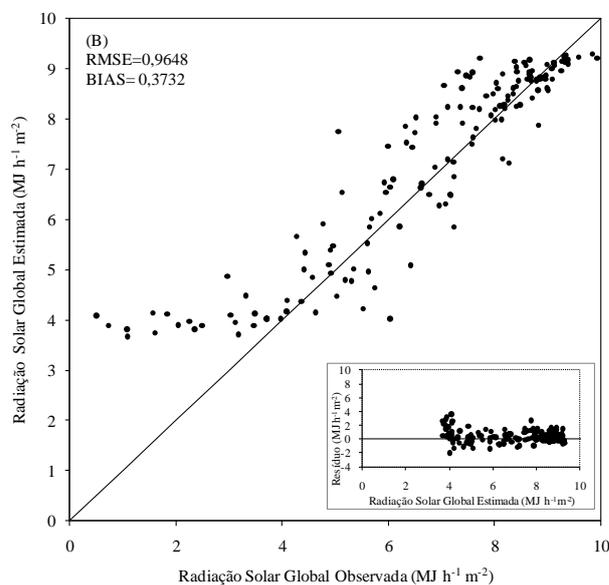
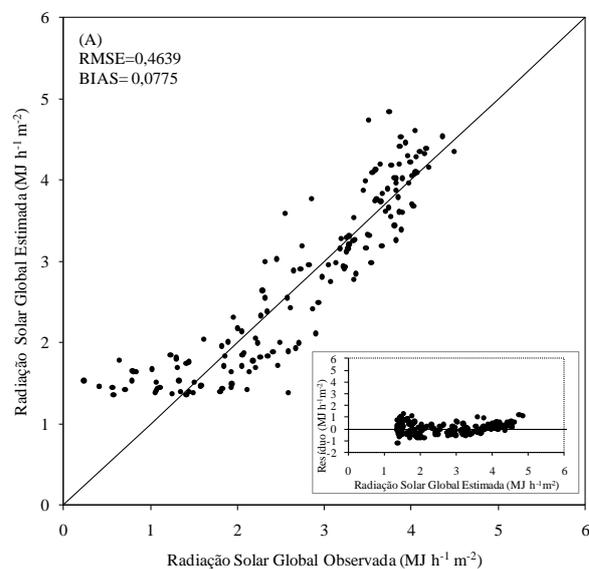
**Apêndice AB** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global no período do dia, manhã e tarde no mês de março em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



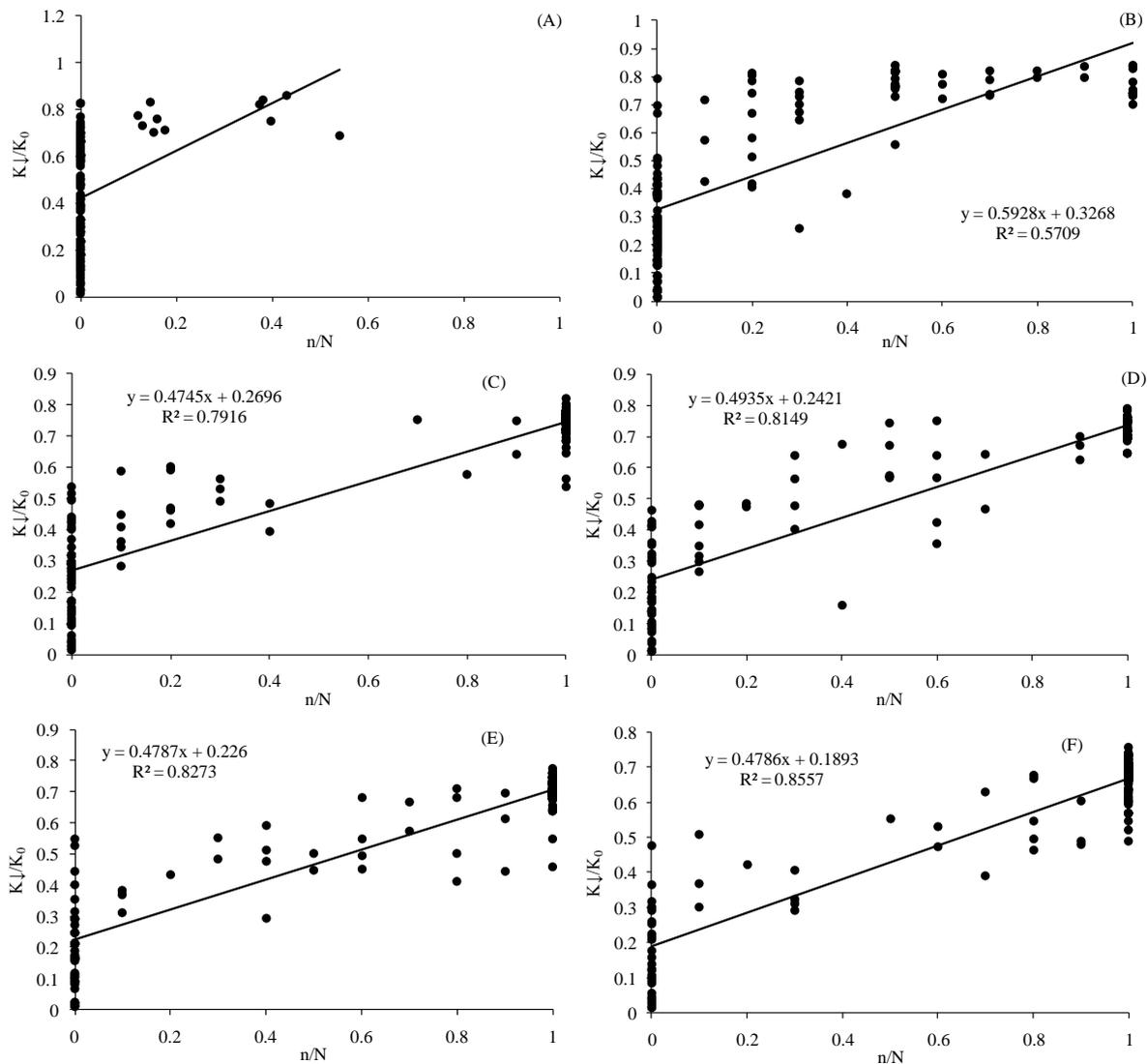
**Apêndice AC** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã1 e manhã2 e da tarde1 e tarde2 no mês de março em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



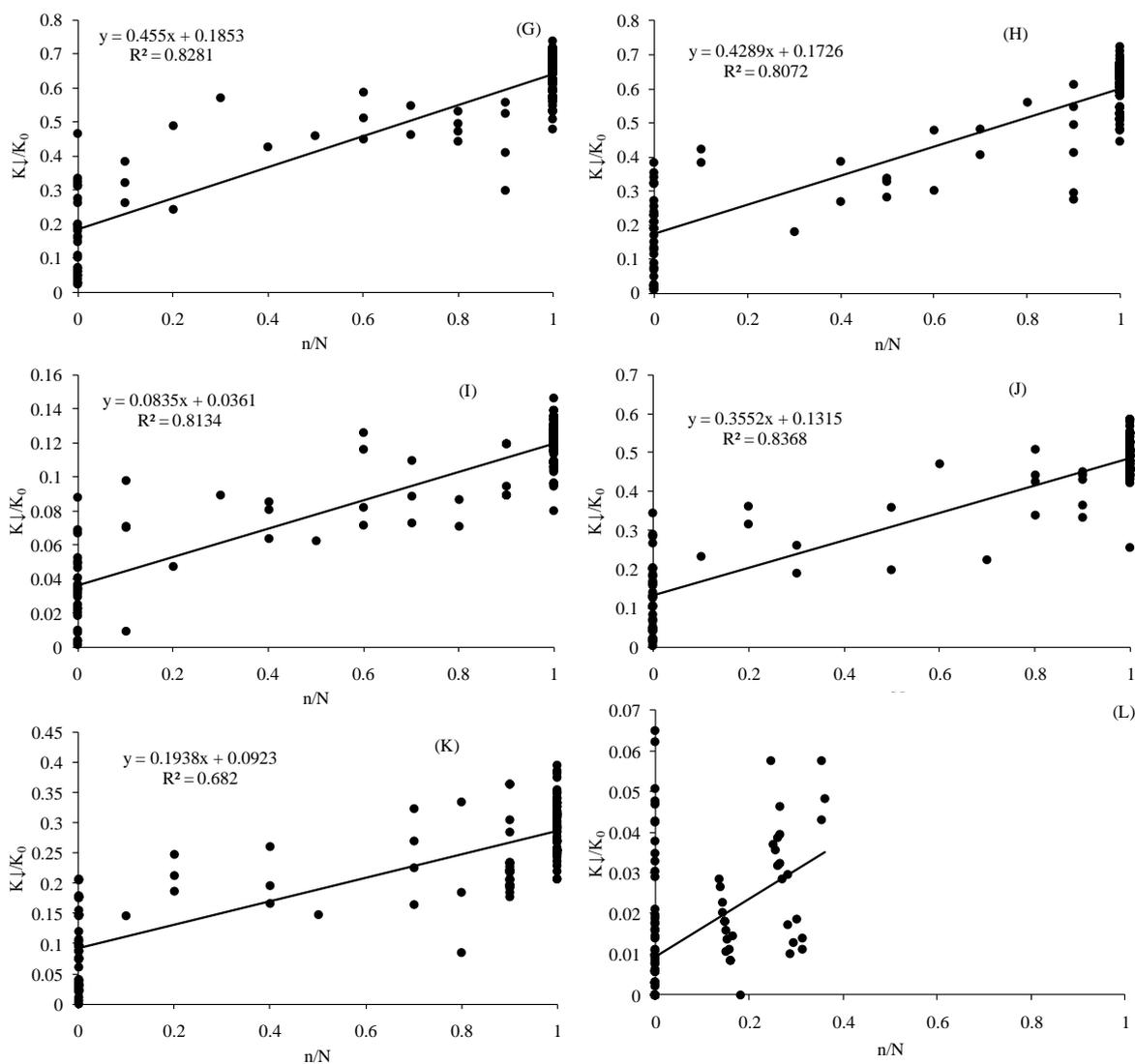
**Apêndice AD-** Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã1, manhã2, da tarde1 e tarde2 no mês de março em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



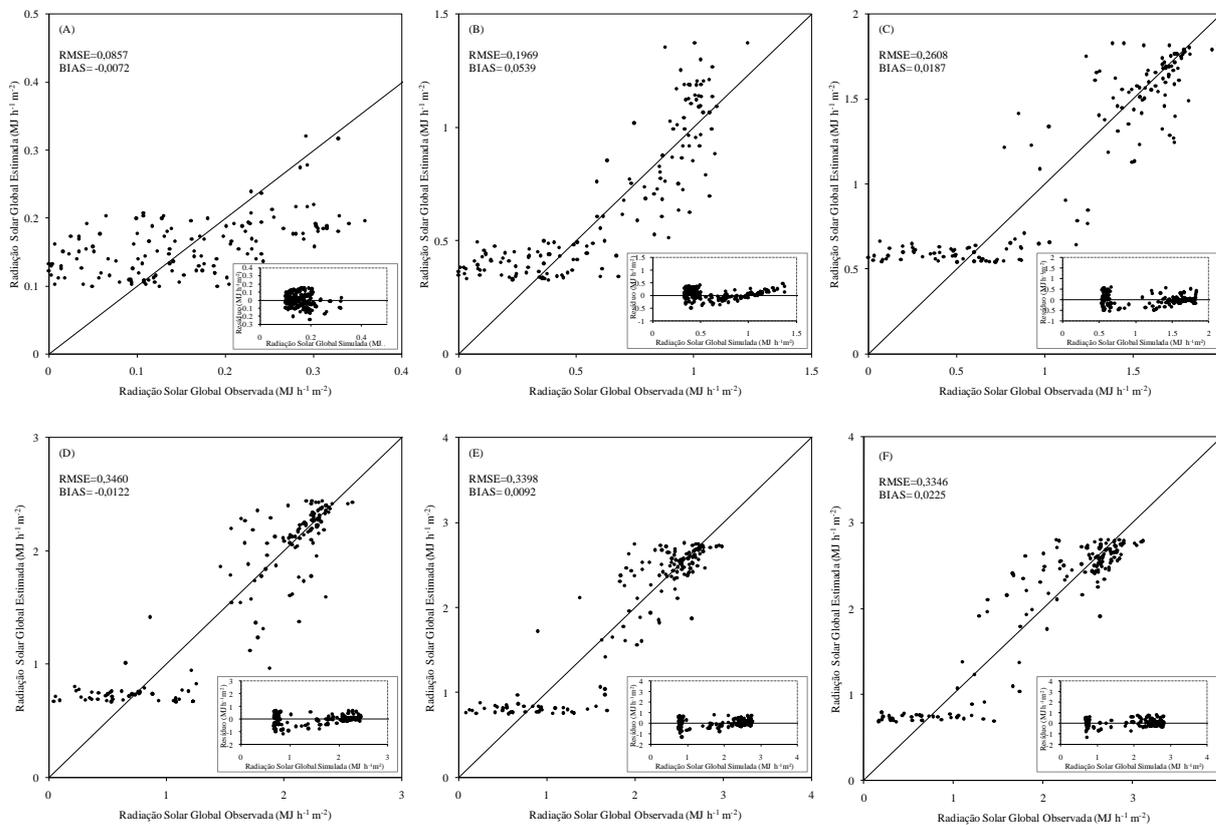
**Apêndice AE** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de abril em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 7 h, (B) das 7 às 8h, (C) das 8 às 9h, (D) das 9 às 10h, (E) das 10 às 11h e (F) das 11 às 12h.



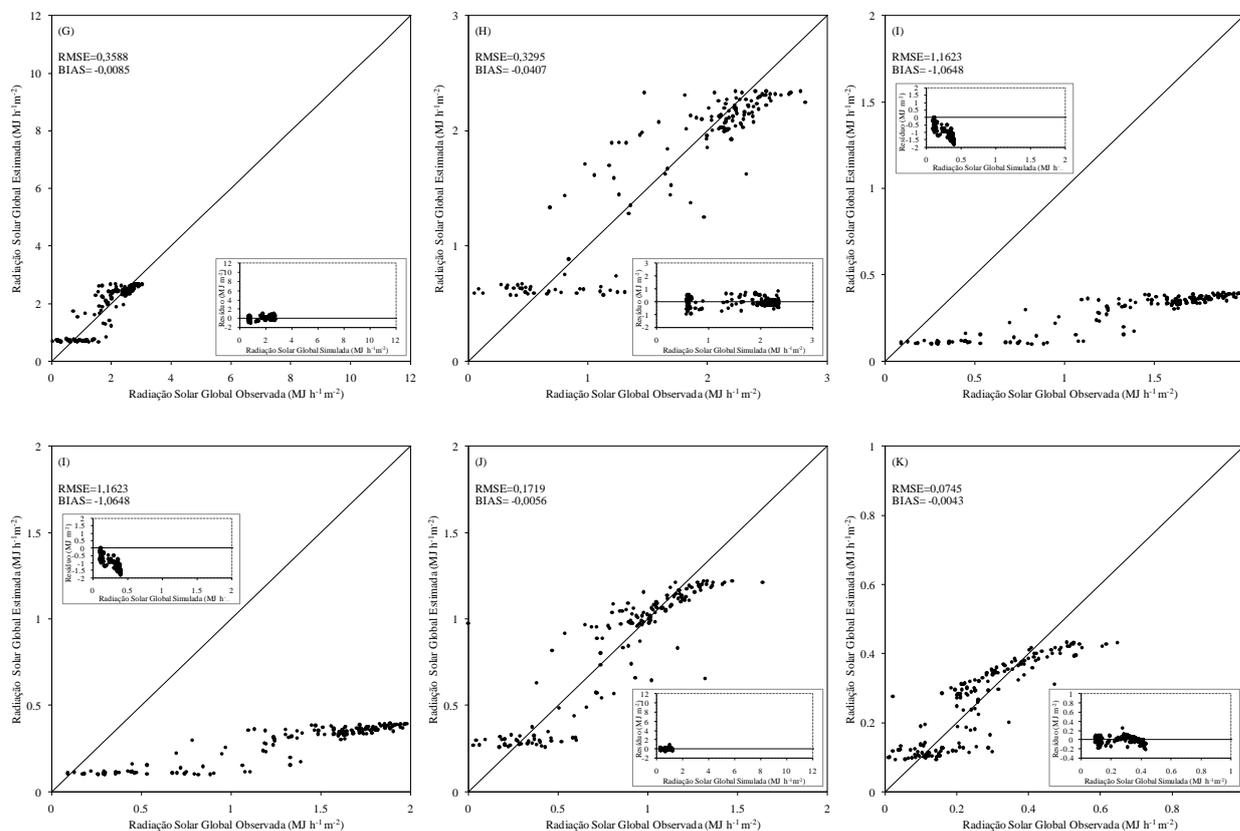
**Apêndice AF-** Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de abril em Santa Maria, RS. (G) das 12 às 13h, (H) das 13 às 14h, (I) das 14 às 15 h, (J) das 15 às 16h, (K) das 16 às 17h, (L) das 17 ao pôr do sol.



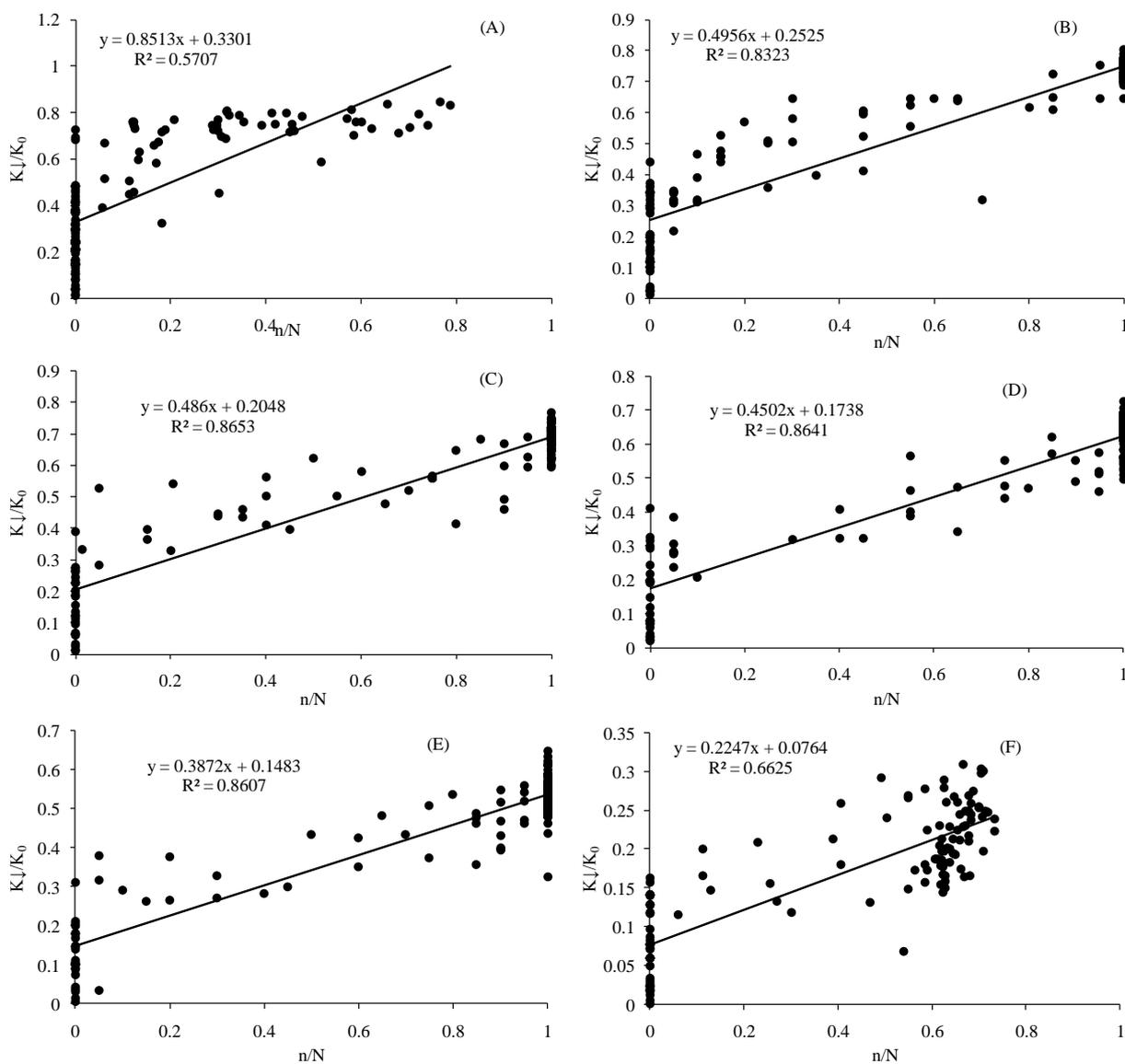
**Apêndice AG** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de abril em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 7 h, (B) das 7 às 8h, (C) das 8 às 9h, (D) das 9 às 10h, (E) das 10 às 11h e (F) das 11 às 12h.



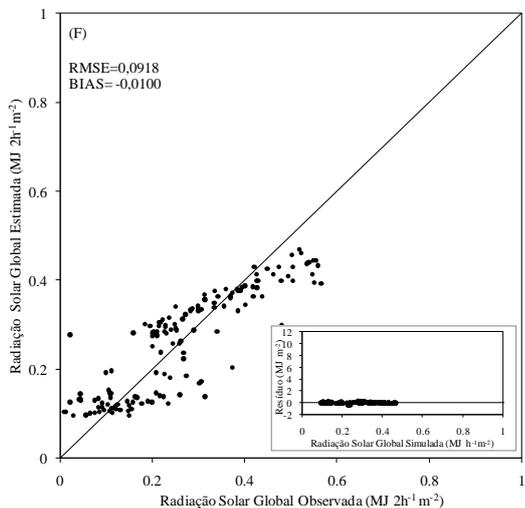
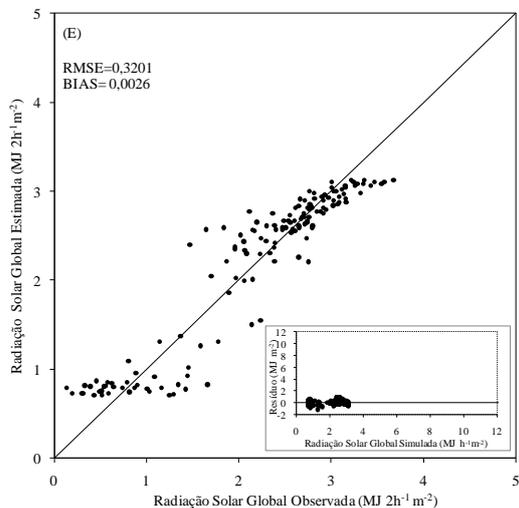
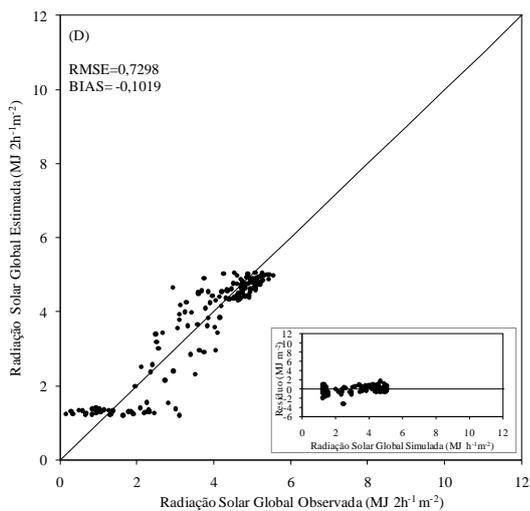
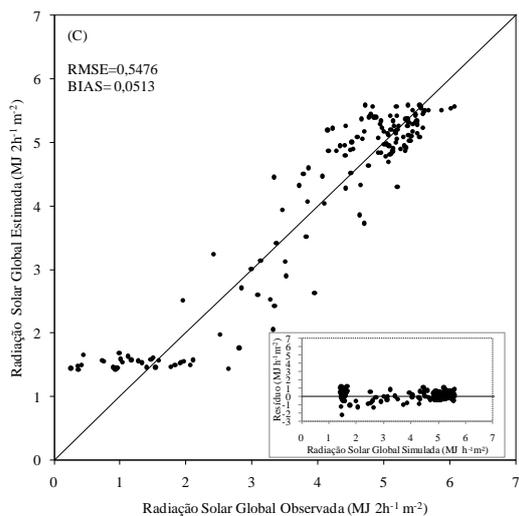
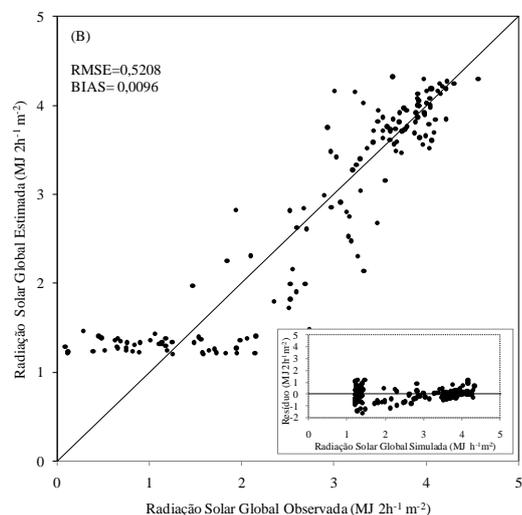
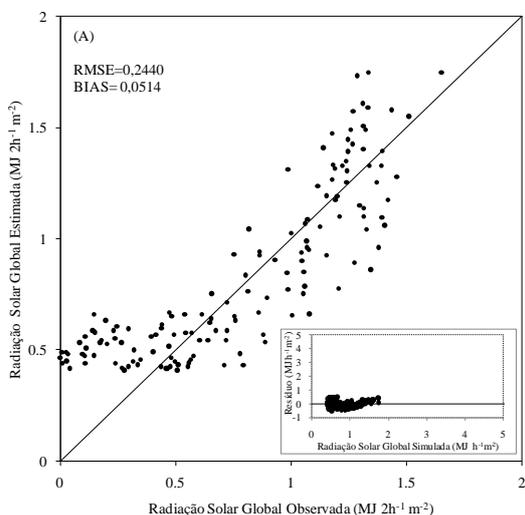
**Apêndice AH** – Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de abril em Santa Maria, RS. (G) das 12 as 13h (H) das 13 as 14h, (I) das 14 as 15 h, (J) das 15 as 16h, (K) das 16 as 17h, (L) das 17 ao pôr do sol.



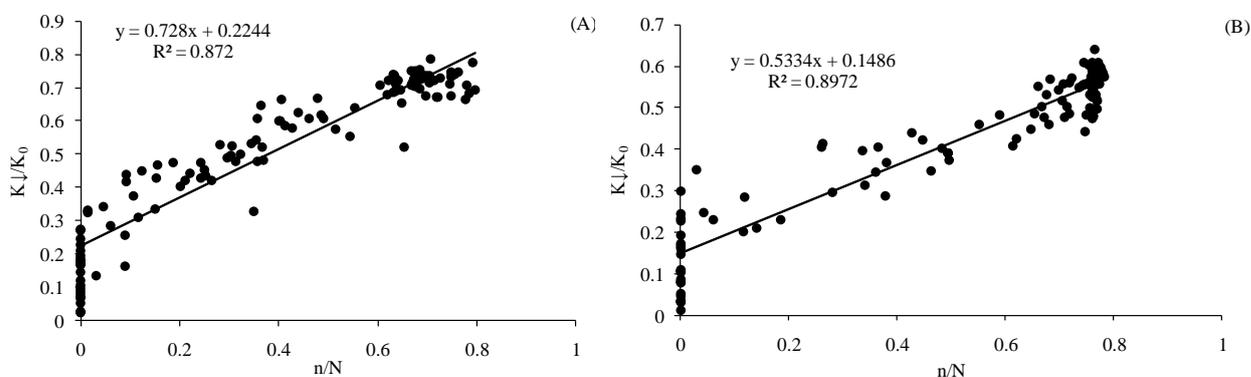
**Apêndice AI** - Equações da estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de abril em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



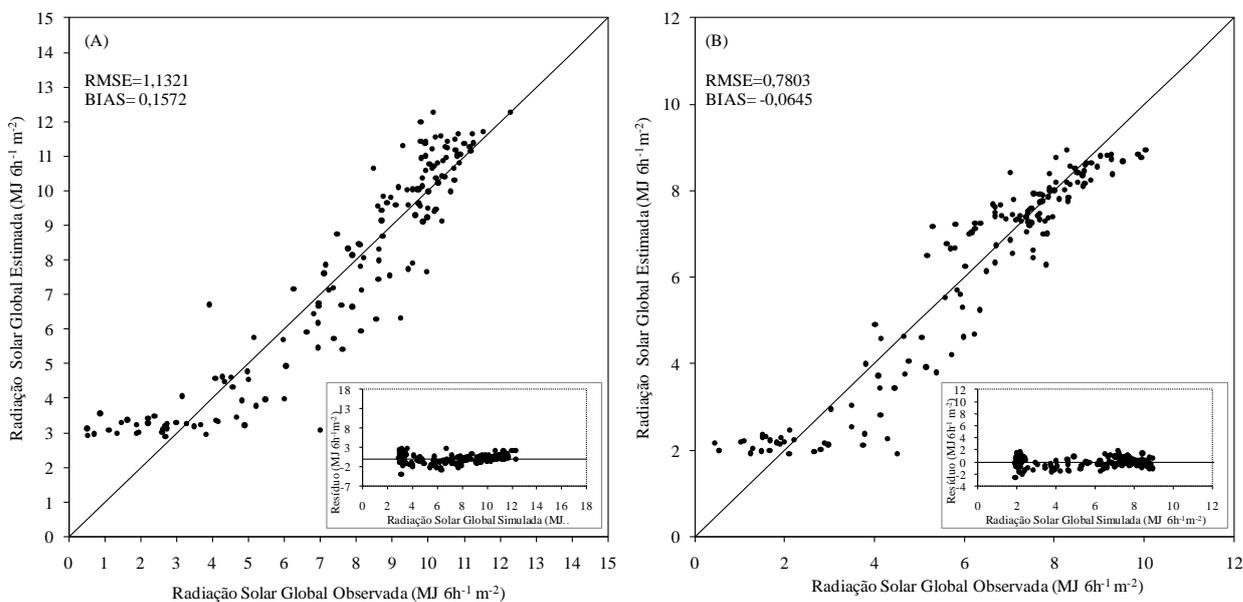
**Apêndice AJ** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de abril em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol as 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



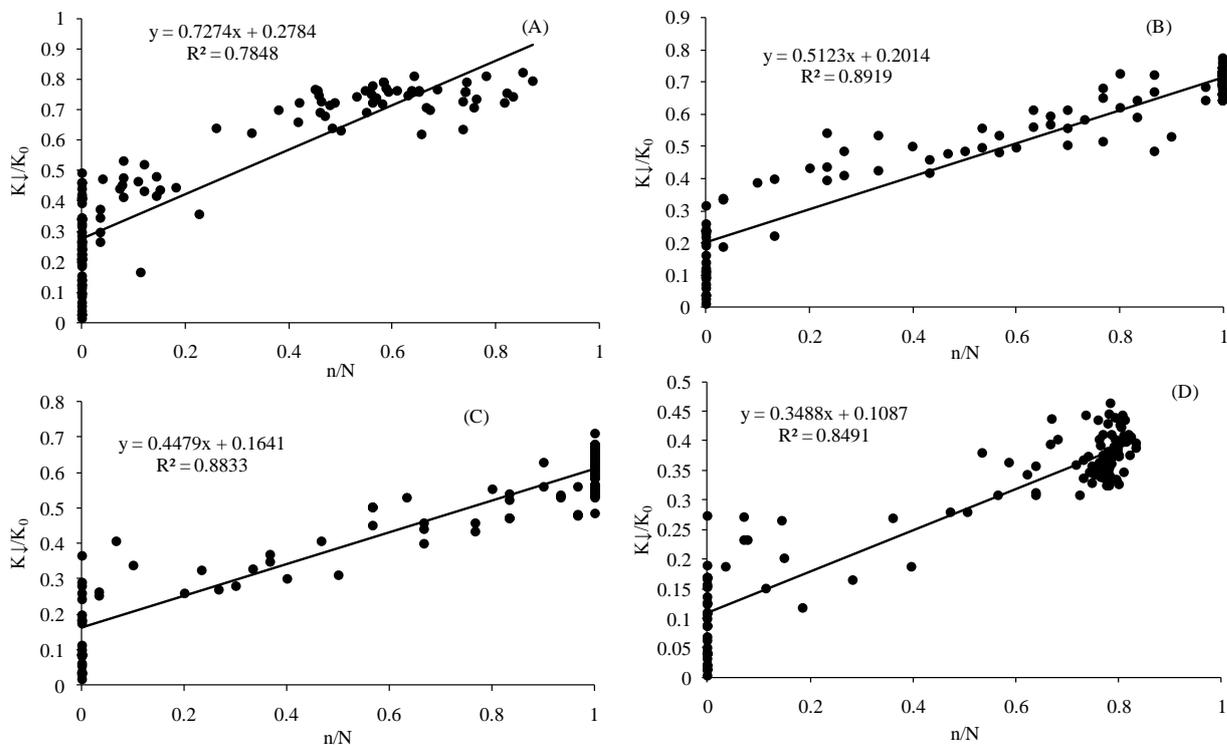
**Apêndice AK** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã e da tarde no mês de abril em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



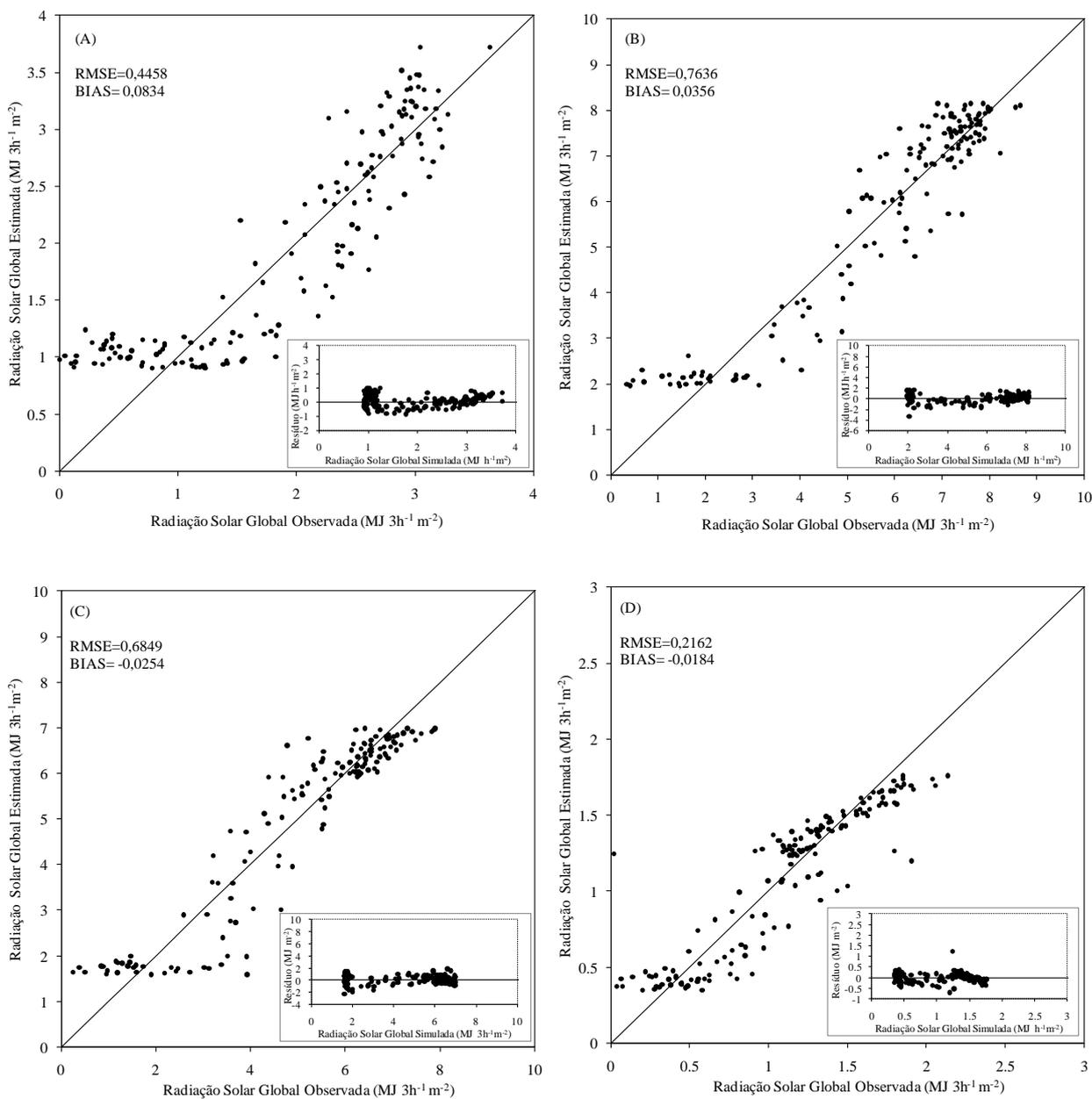
**Apêndice AL** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global global no período do dia, manhã e tarde no mês de abril em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



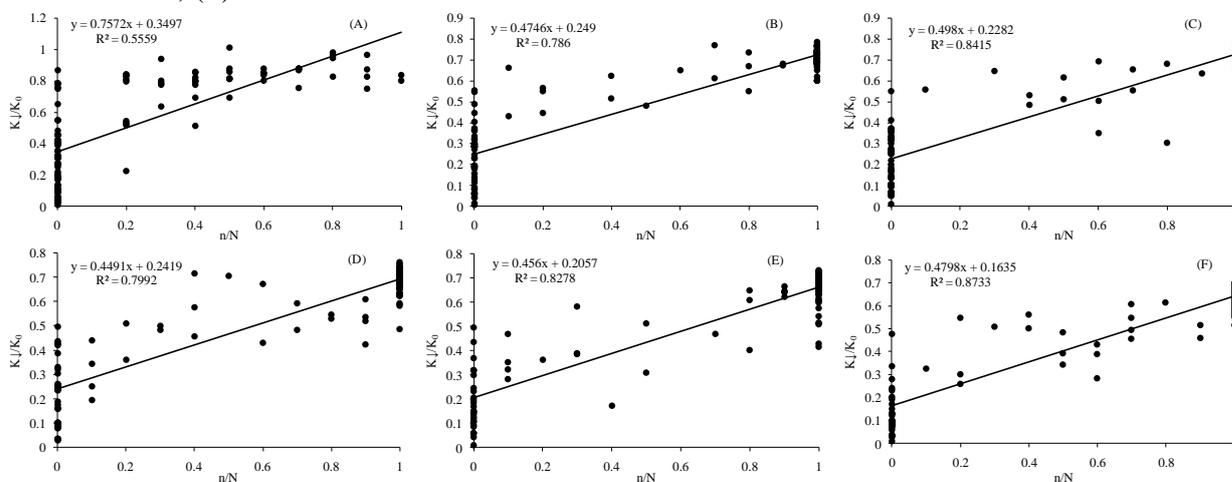
**Apêndice AM** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã1 e manhã2 e da tarde1 e tarde2 no mês de abril em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



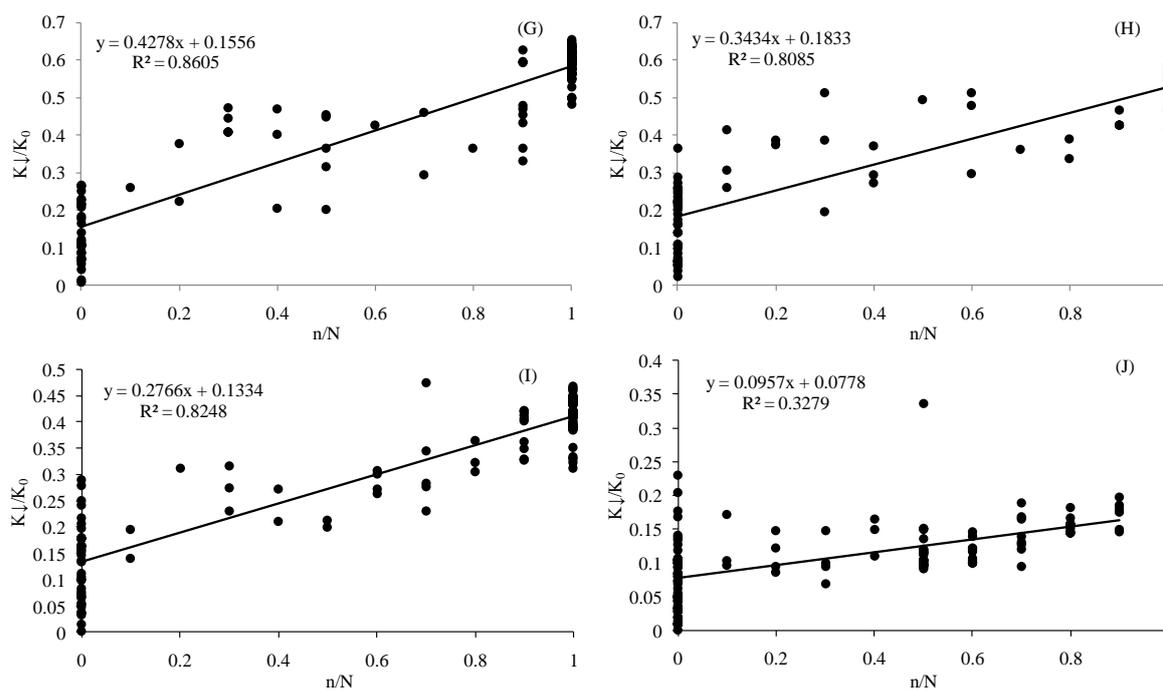
**Apêndice AN-** Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã1, manhã2, da tarde1 e tarde2 no mês de abril em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



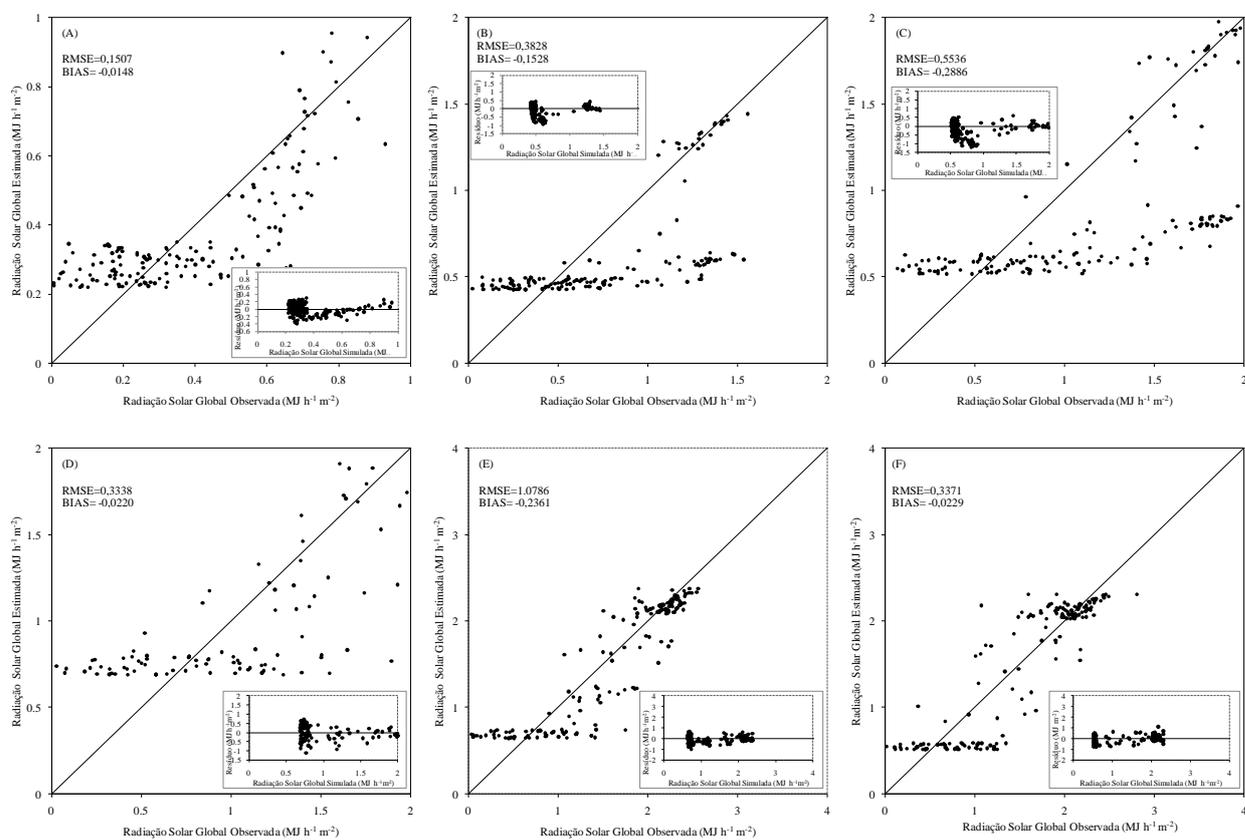
**Apêndice AO** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de maio em Santa Maria, RS. (A) das 7 às 8h, (B) das 8 às 9h, (C) das 9 às 10h, (D) das 10 às 11h, (E) das 11 às 12h, (F) 12 às 13h.



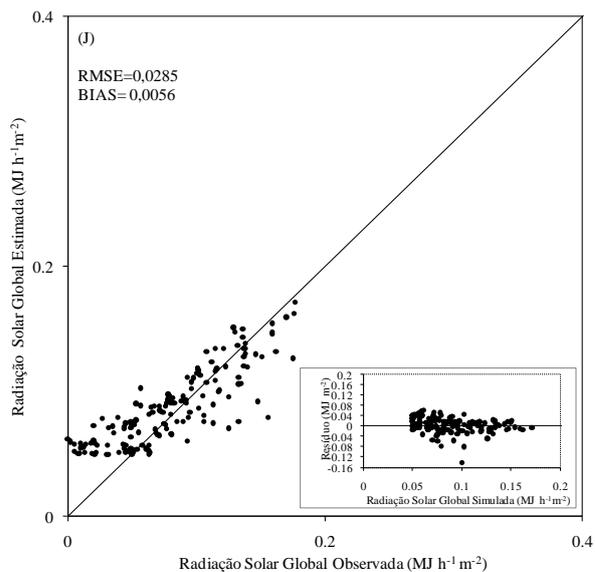
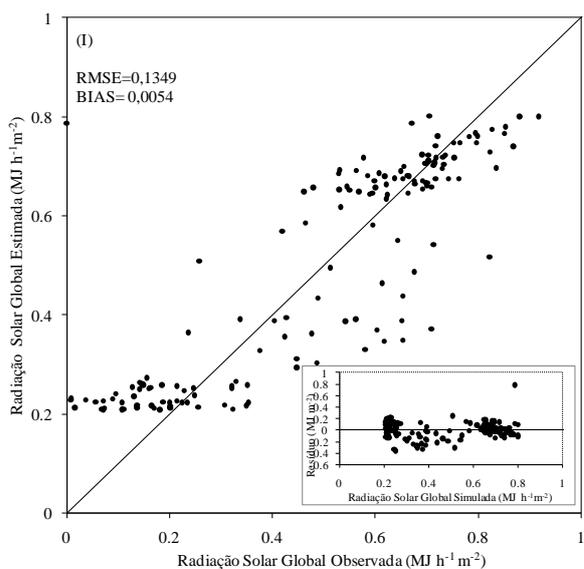
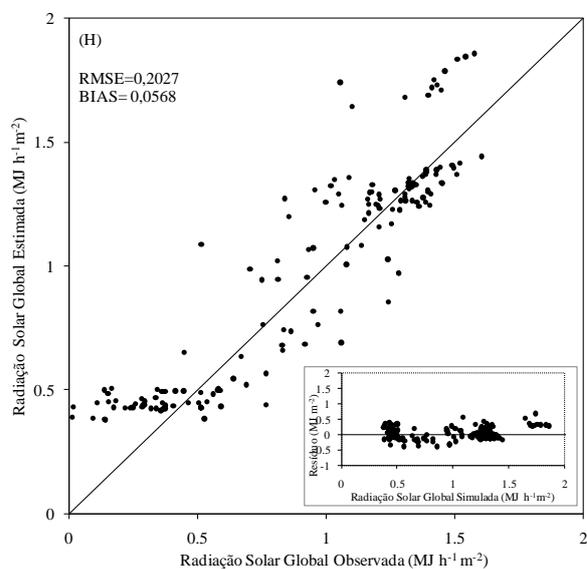
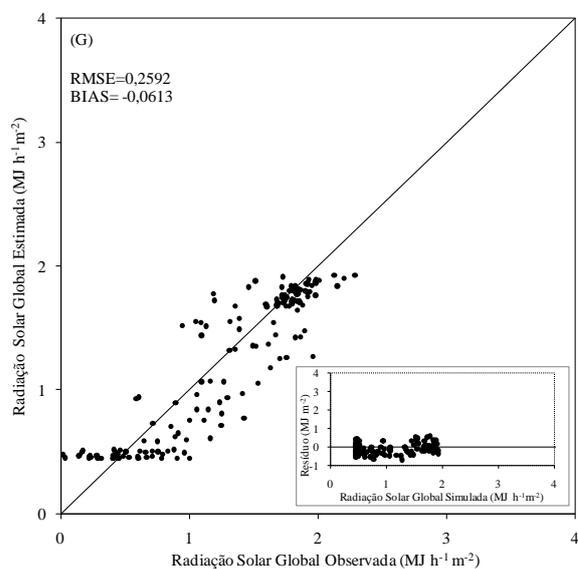
**Apêndice AP** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de maio em Santa Maria, RS. (G) das 13 às 14h, (H) das 14 às 15 h, (I) das 15 às 16h, (J) das 16 às 17h.



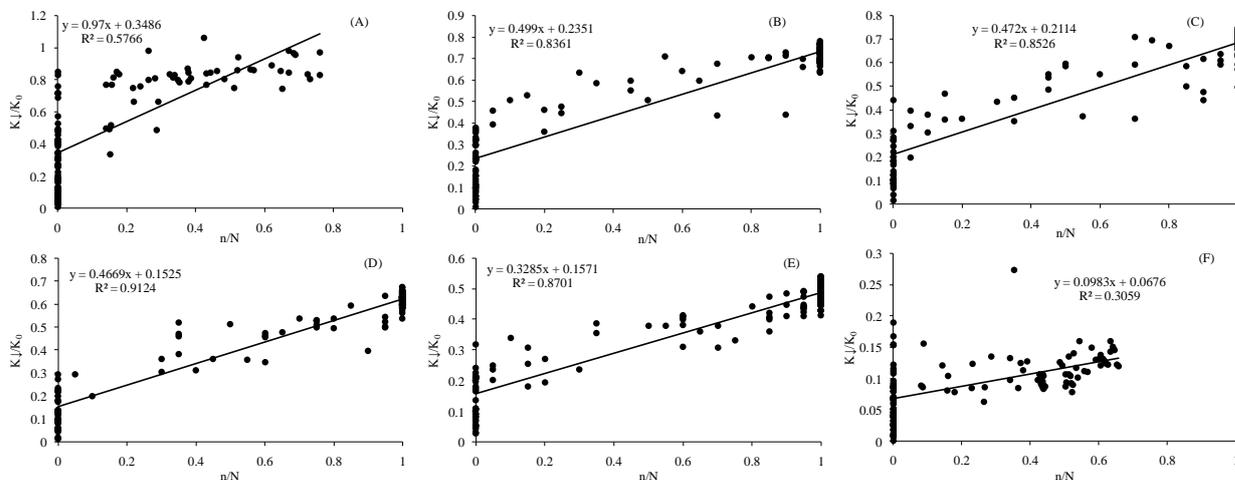
**Apêndice AQ** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de maio em Santa Maria, RS. (A) das 7 às 8h, (B) das 8 às 9h, (C) das 9 às 10h, (D) das 10 às 11h, (E) das 11 às 12h, (F) 12 às 13h.



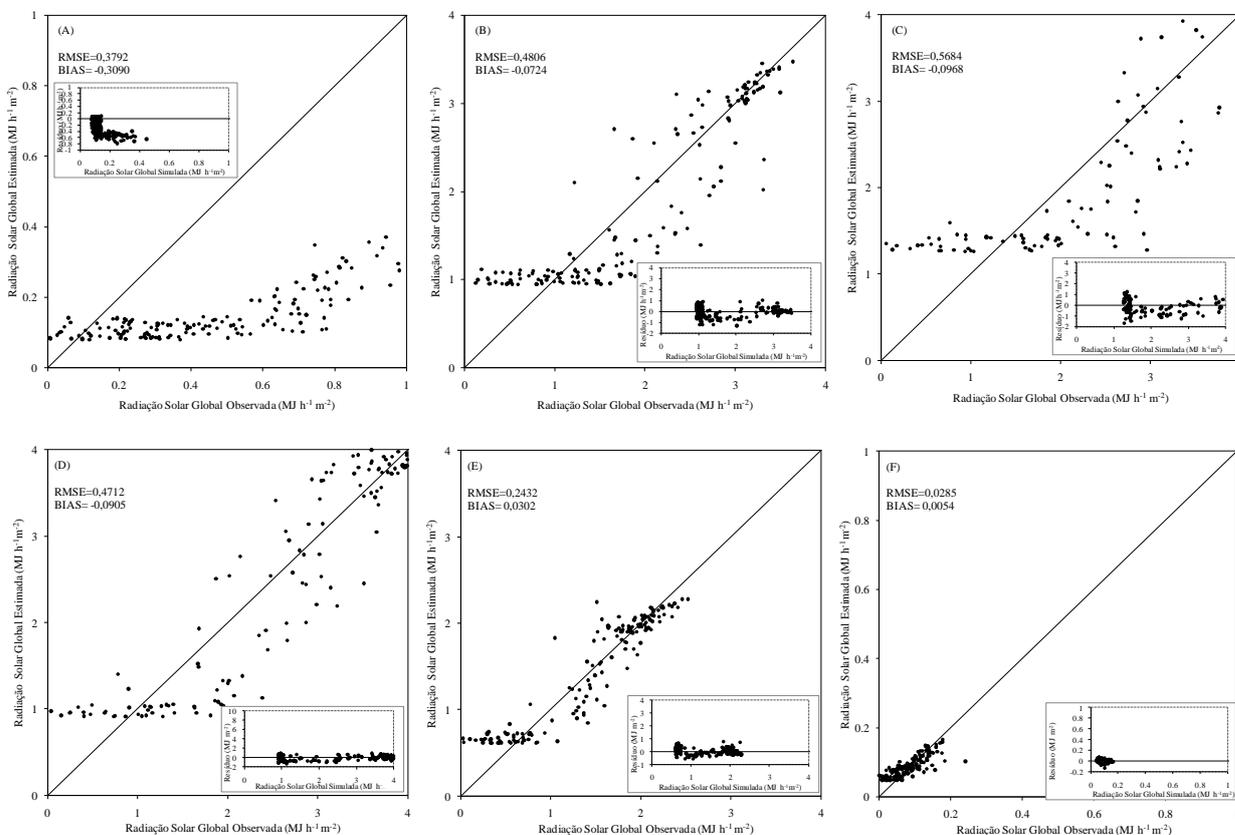
**Apêndice AR** – Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de maio em Santa Maria, RS. (G) das 12 às 13h, (H) das 13 às 14h, (I) das 14 às 15 h, (J) das 15 às 16h, (K) das 16 às 17h, (L) das 17 às 18h.



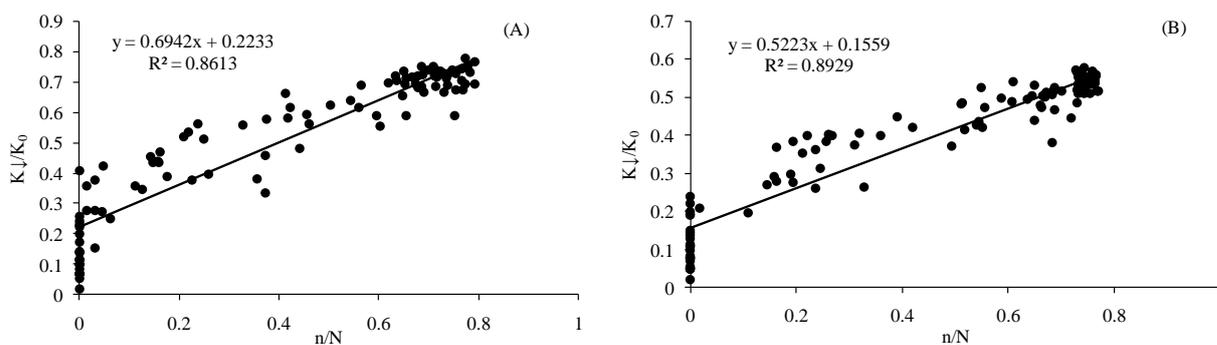
**Apêndice AS** - Equações da estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de maio em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol as 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



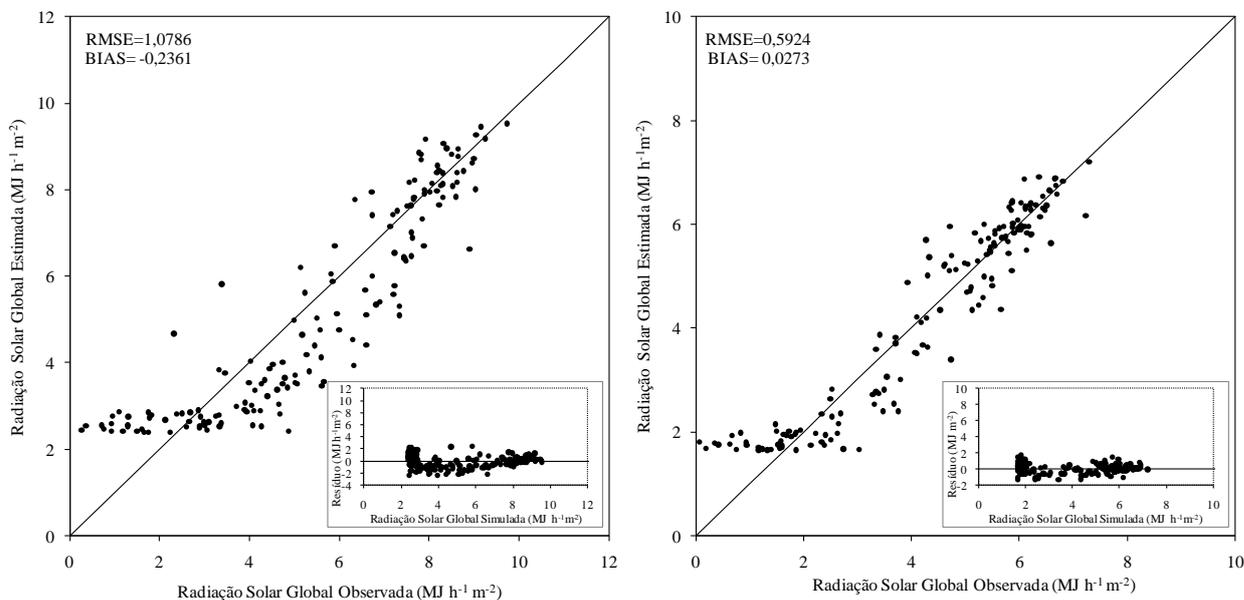
**Apêndice AT** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de maio em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol as 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



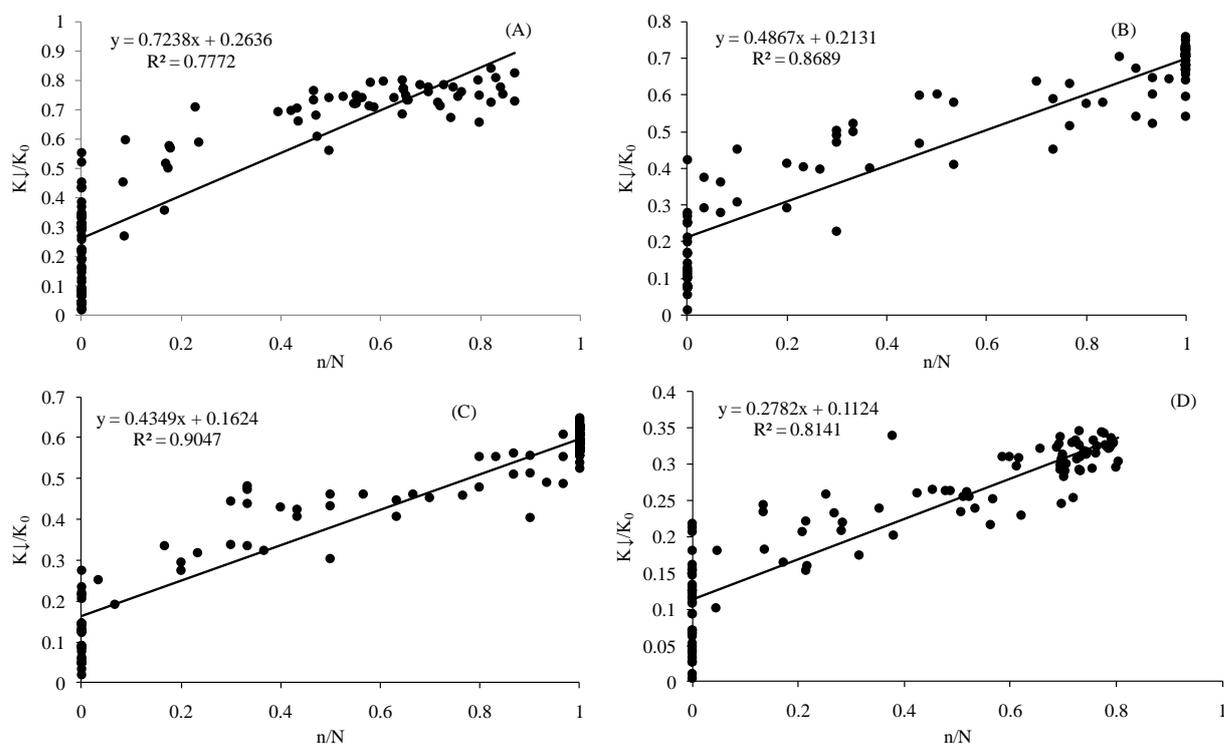
**Apêndice AU** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã e da tarde no mês de maio em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



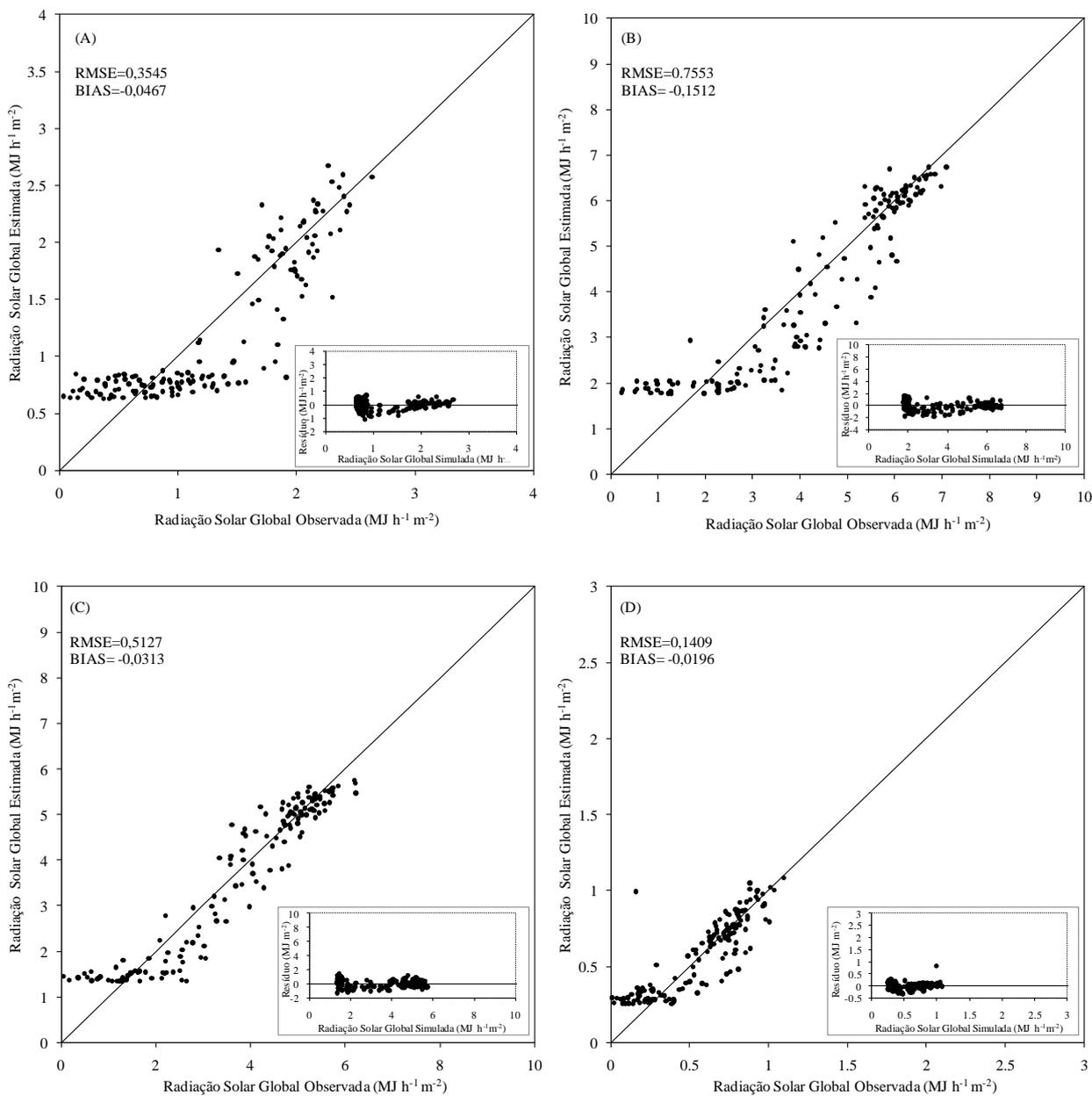
**Apêndice AV** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global global no período do dia, manhã e tarde no mês de maio em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



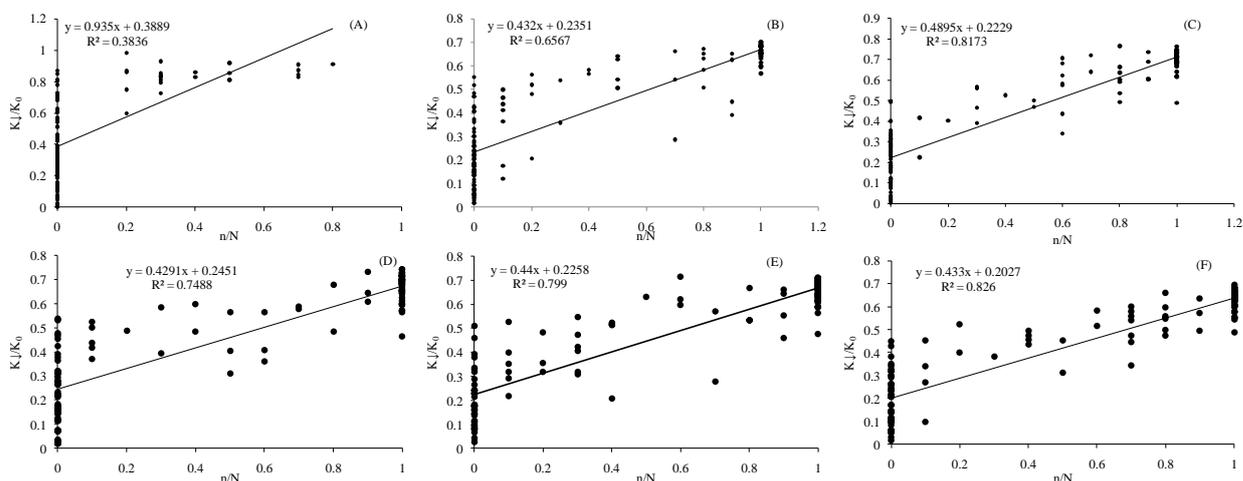
**Apêndice AW** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã1 e manhã2 e da tarde1 e tarde2 no mês de maio em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



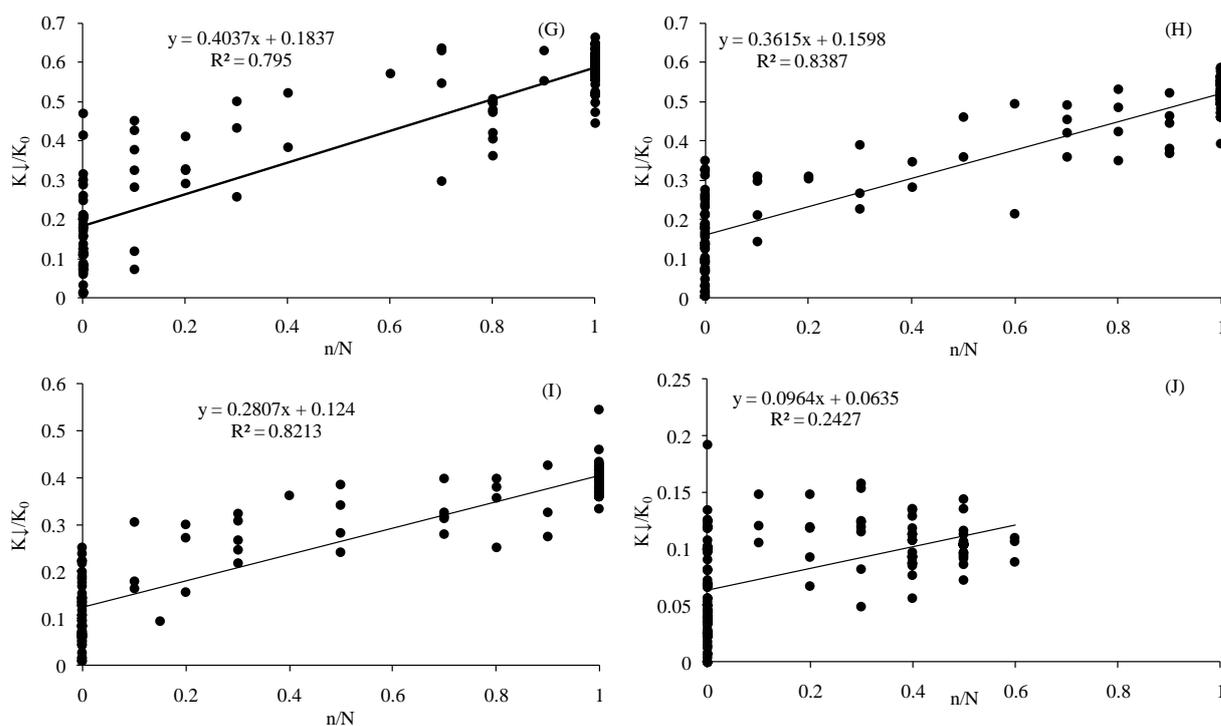
**Apêndice AX** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global global no período do dia da manhã1, manhã2, da tarde1 e tarde2 no mês de maio em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



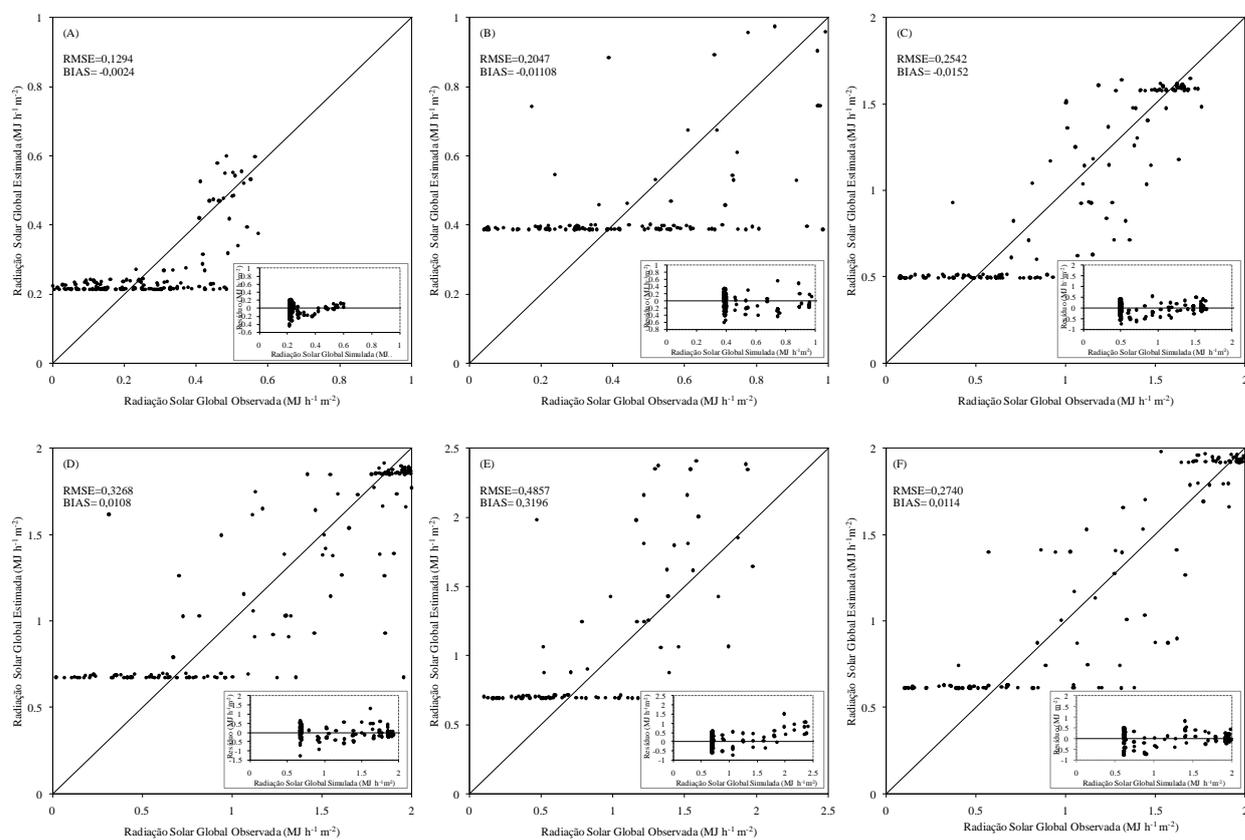
**Apêndice AY** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de junho em Santa Maria, RS. (A) das 7 às 8h, (B) das 8 às 9h, (C) das 9 às 10h, (D) das 10 às 11h, (E) das 11 às 12h, (F) 12 às 13h.



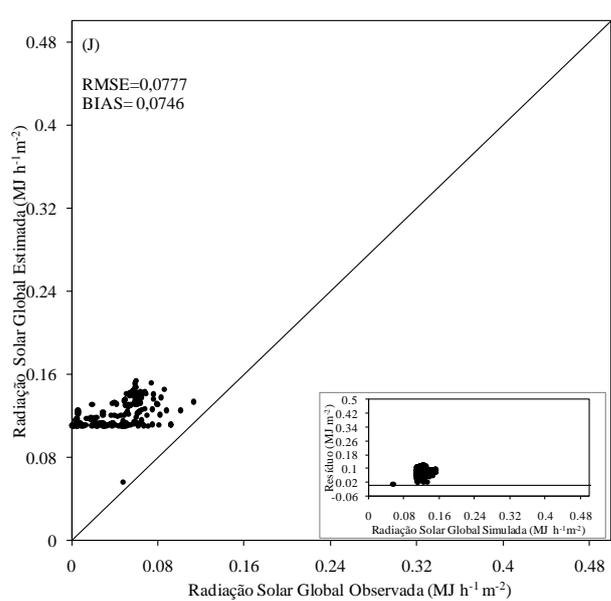
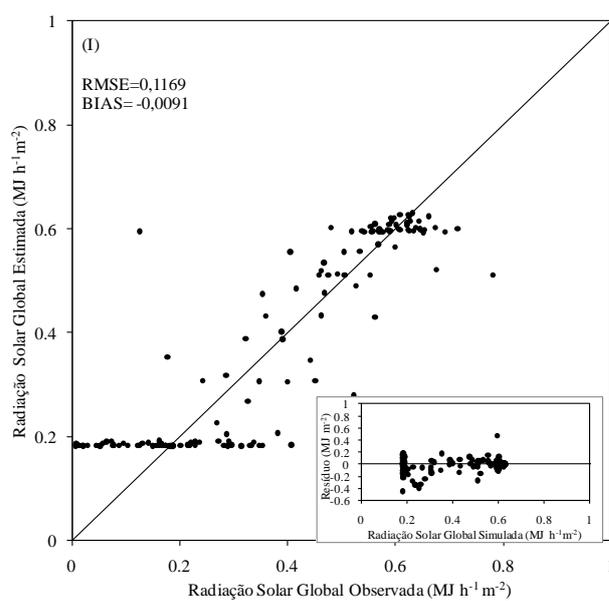
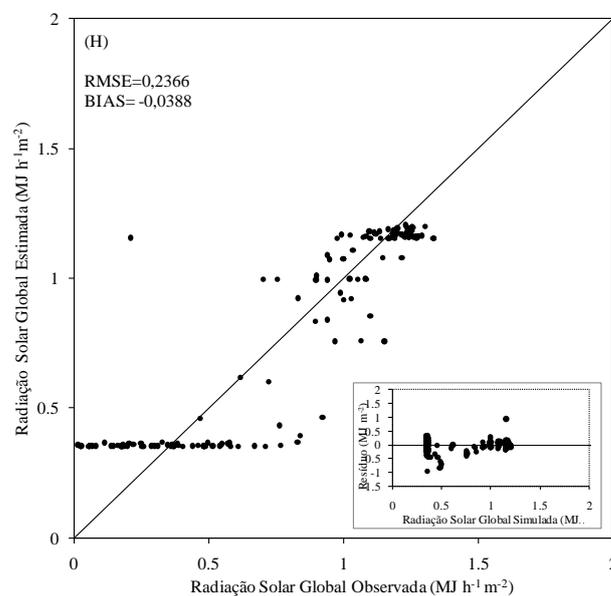
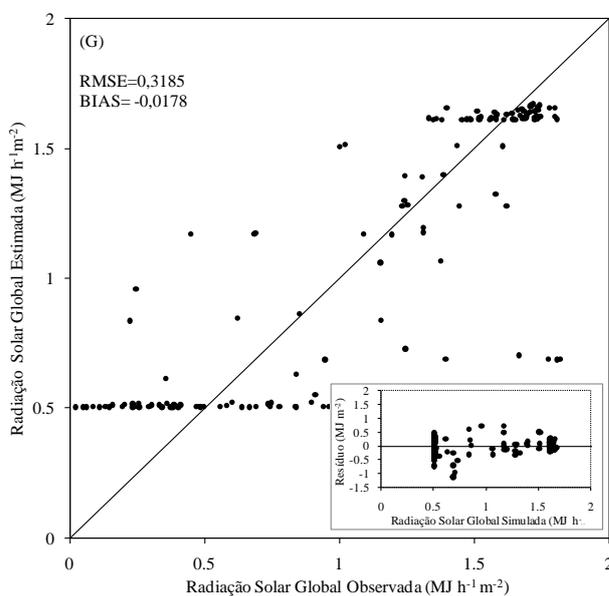
**Apêndice AZ** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de junho em Santa Maria, RS. (G) das 13 às 14h, (H) das 14 às 15 h, (I) das 15 às 16h, (J) das 16 às 17h.



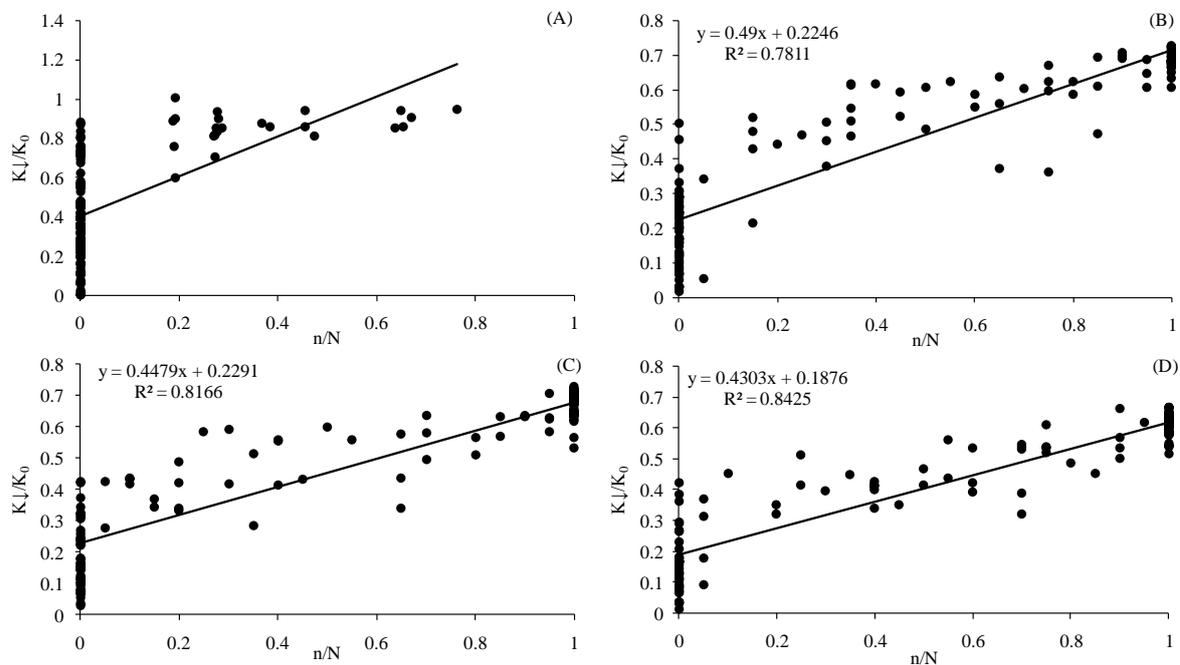
**Apêndice BA** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de junho em Santa Maria, RS. (A) das 7 às 8h, (B) das 8 às 9h, (C) das 9 às 10h, (D) das 10 às 11h, (E) das 11 às 12h, (F) 12 às 13h.



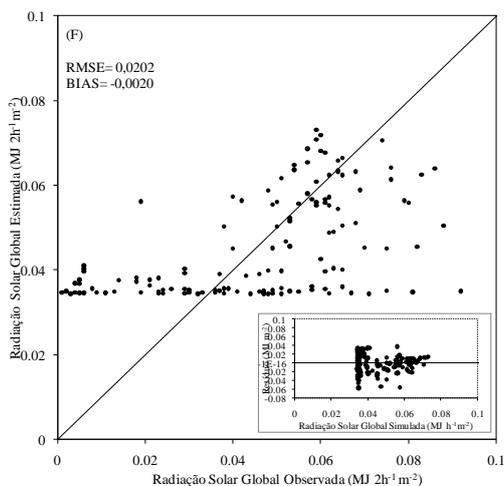
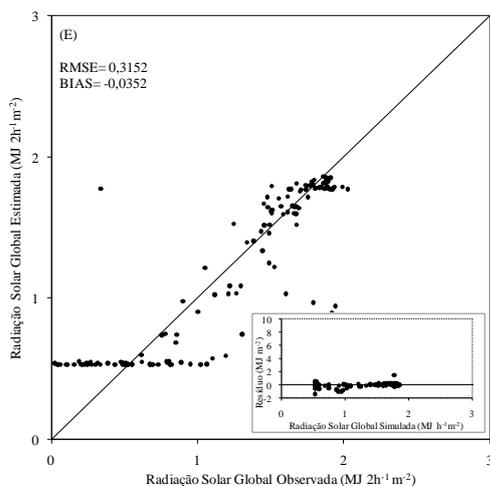
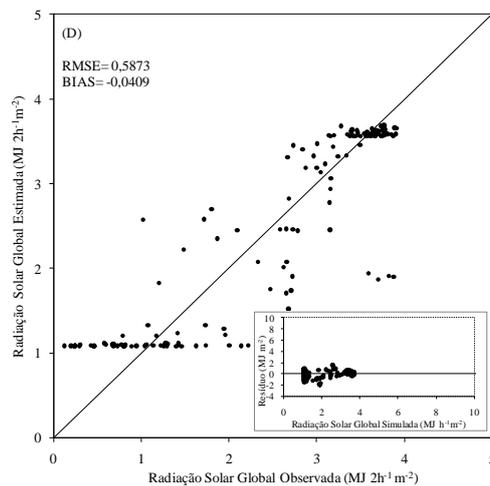
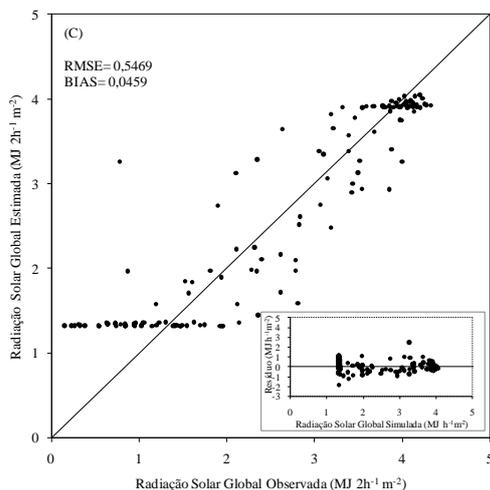
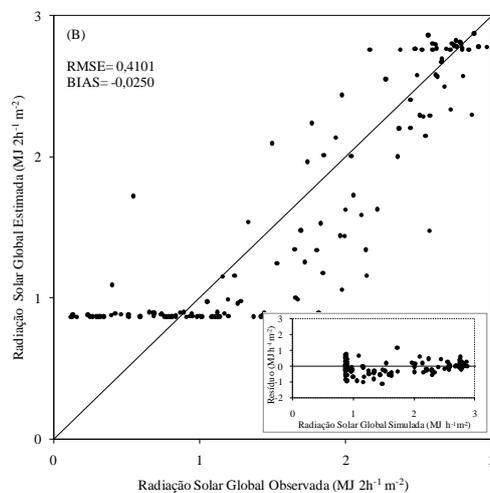
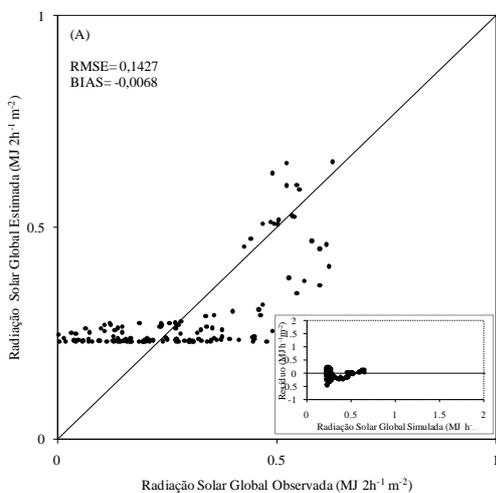
**Apêndice BB** – Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de junho em Santa Maria, RS. (G) das 13 às 14h, (H) das 14 às 15 h, (I) das 15 às 16h, (J) das 16 às 17h.



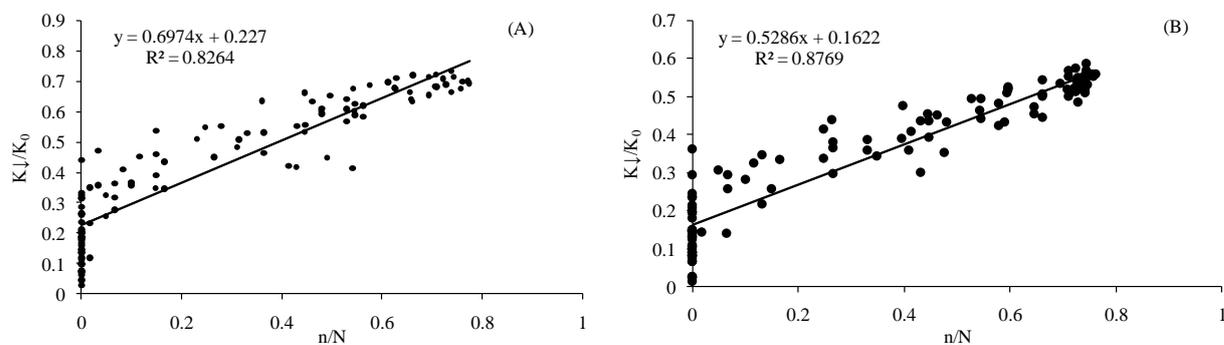
**Apêndice BC** - Equações da estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de junho em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



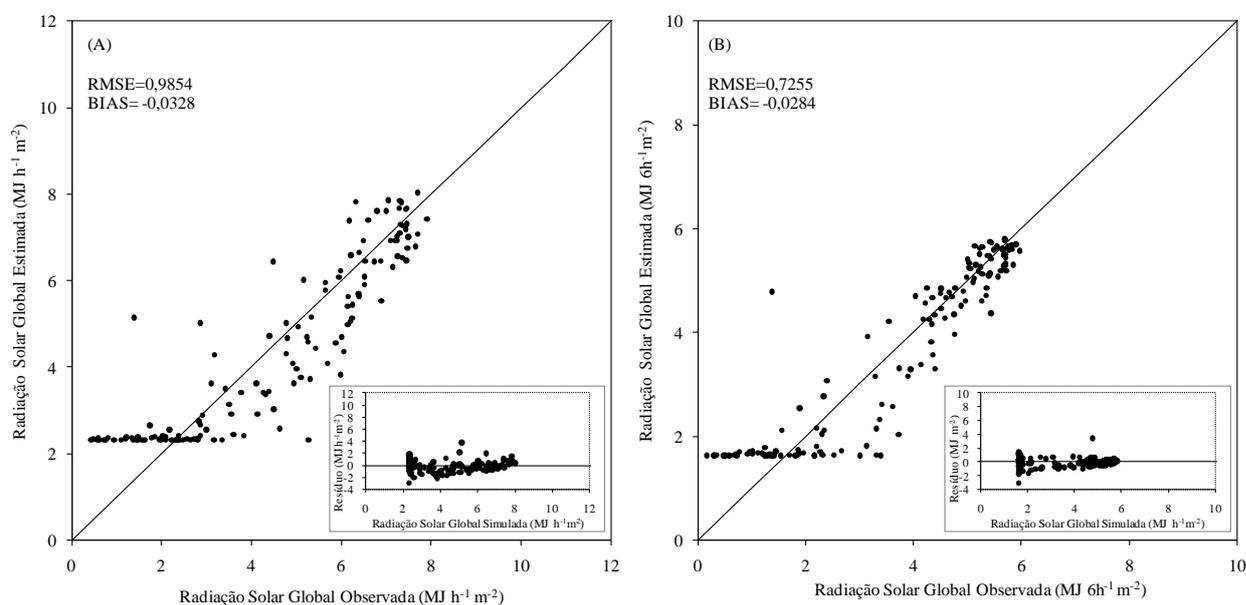
**Apêndice BD** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de junho em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



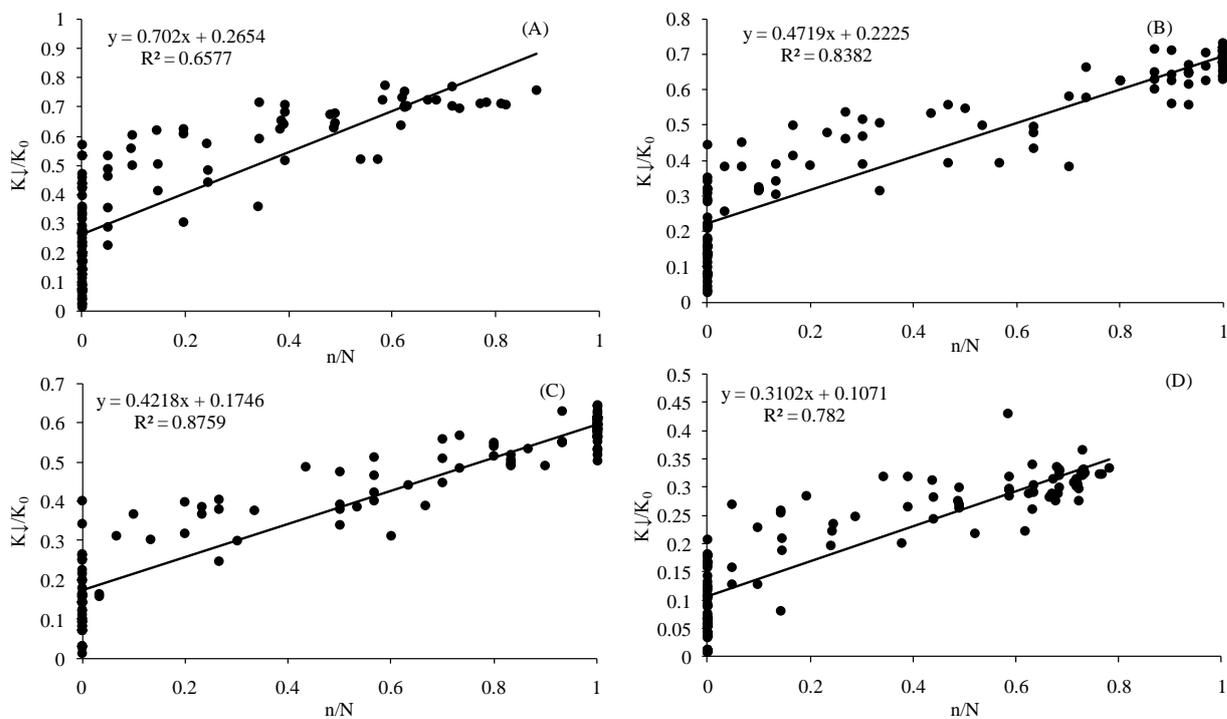
**Apêndice BE** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã e da tarde no mês de junho em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



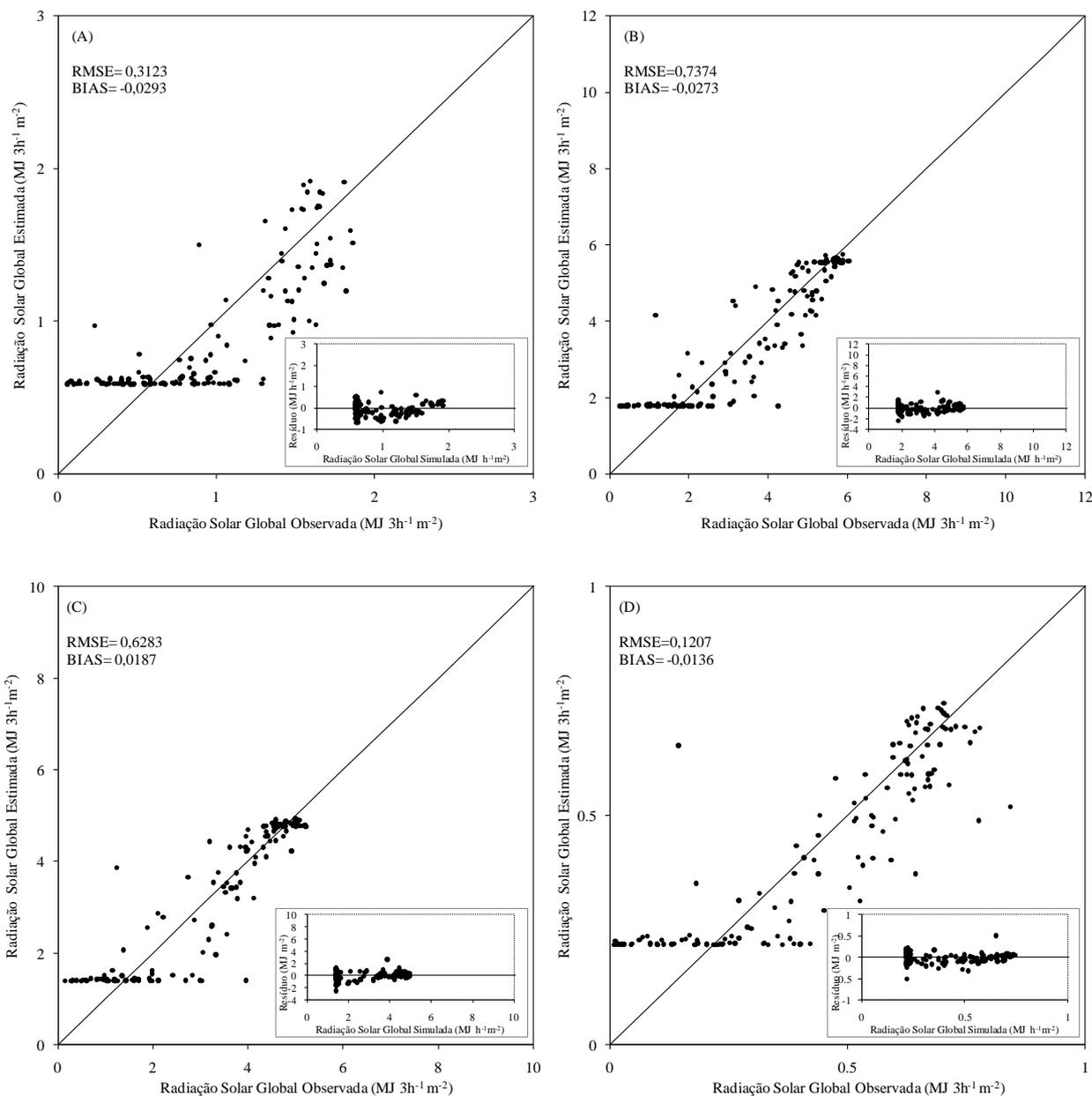
**Apêndice BF** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global global no período do dia, manhã e tarde no mês de junho em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



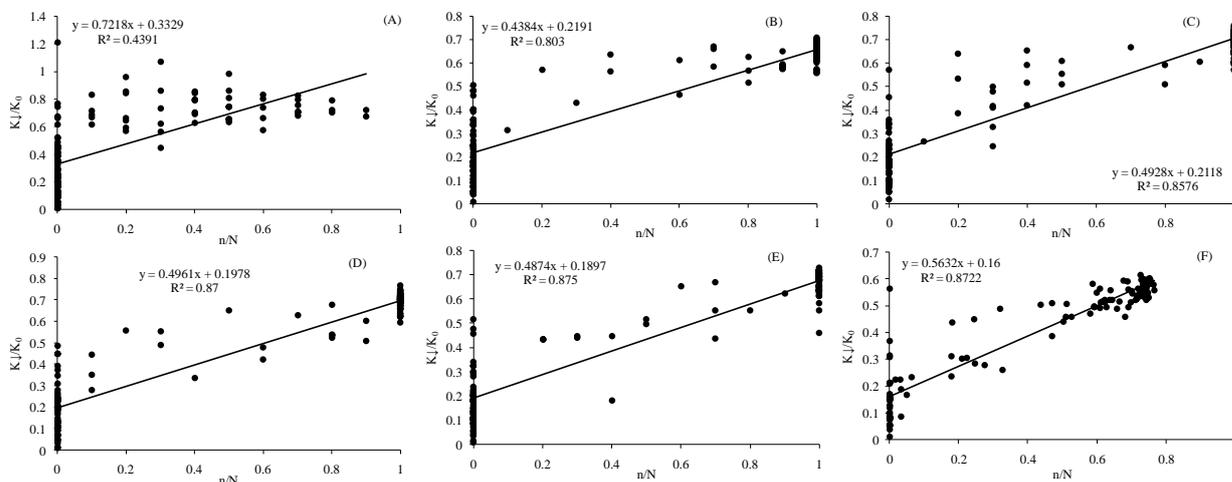
**Apêndice BG** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã1 e manhã2 e da tarde1 e tarde2 no mês de junho em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



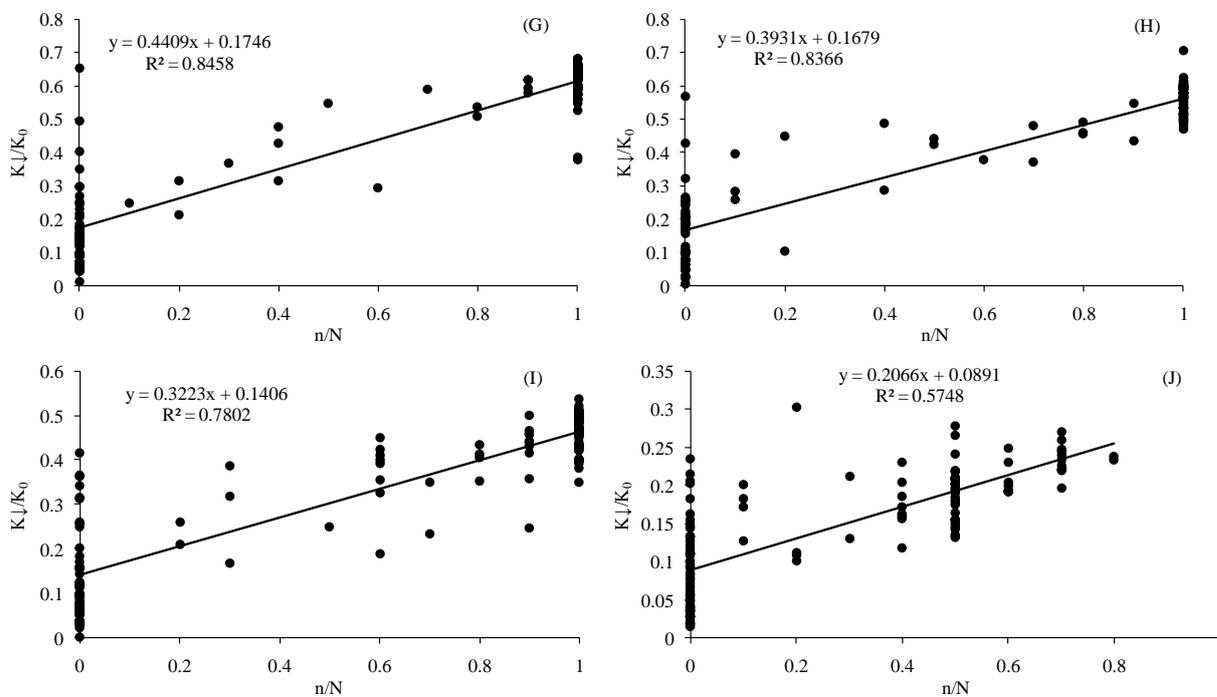
**Apêndice BH-** Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã1, manhã2, da tarde1 e tarde2 no mês de junho em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



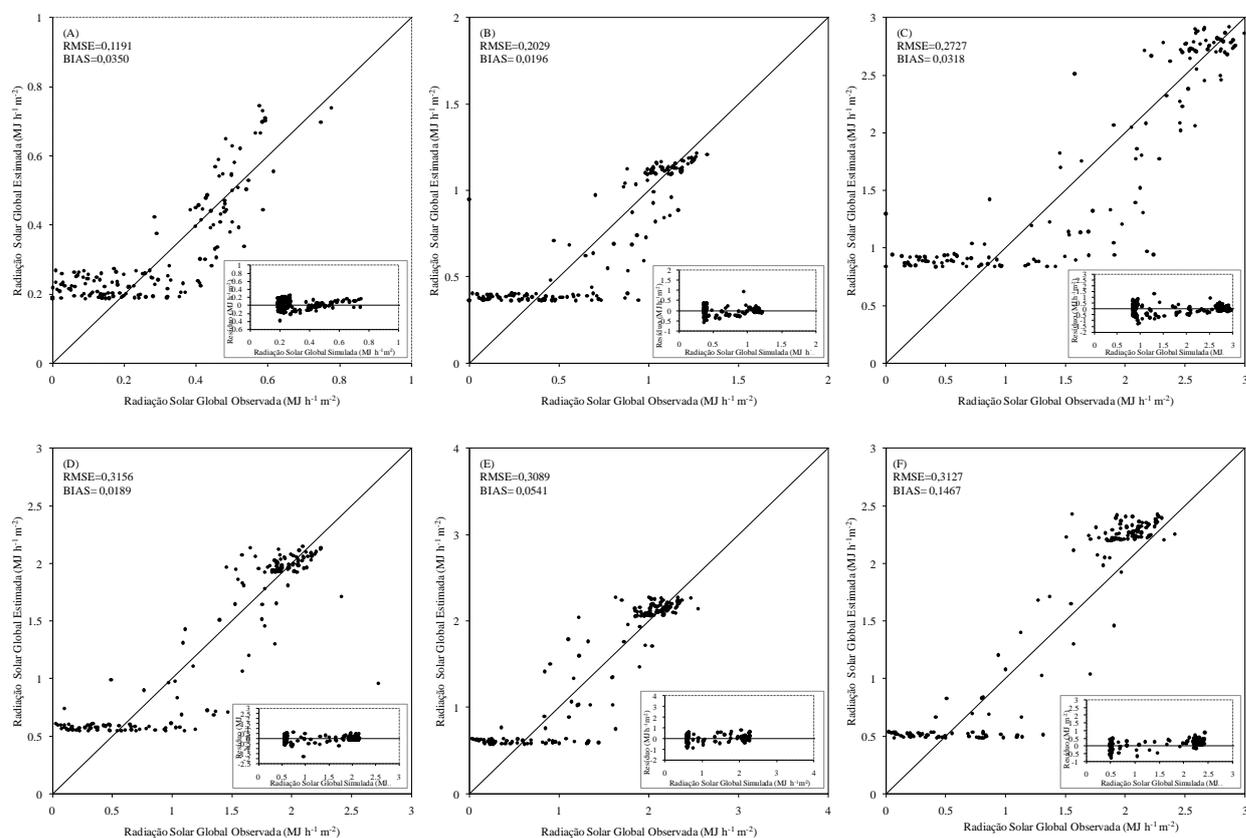
**Apêndice BI** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de julho em Santa Maria, RS. (A) das 7 às 8 h, (B) das 8 às 9h, (C) das 9 às 10h, (D) das 10 às 11h, (E) das 11 às 11h e (F) das 12 às 13h.



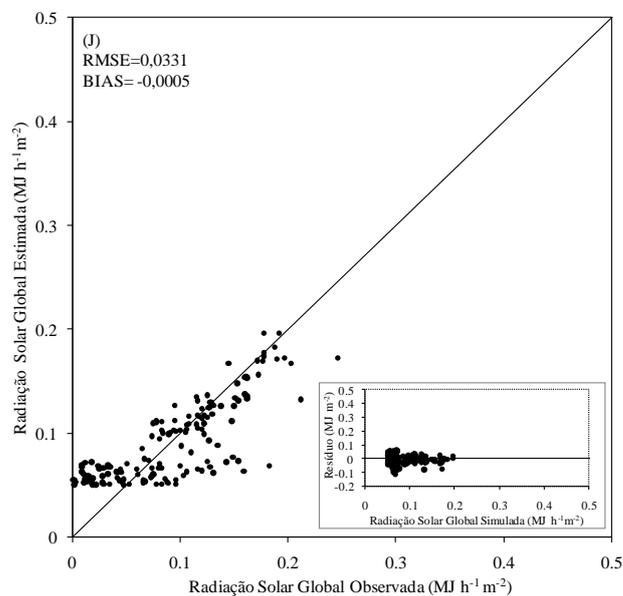
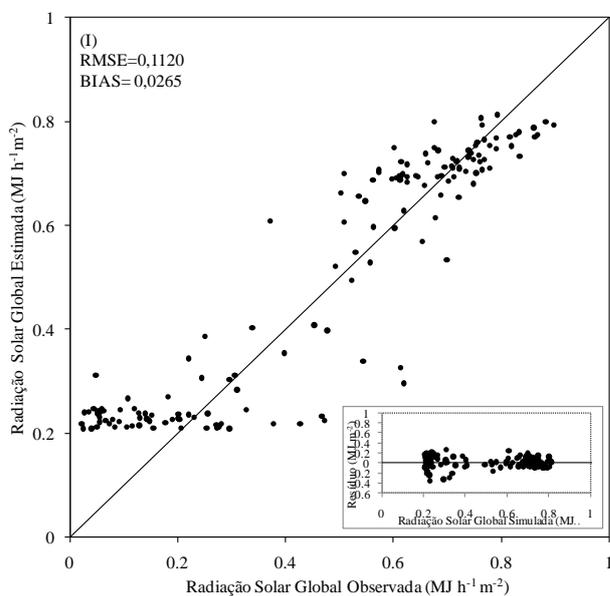
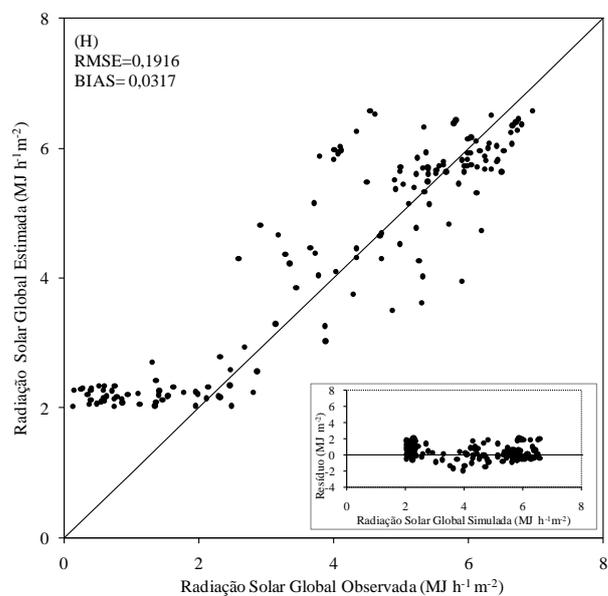
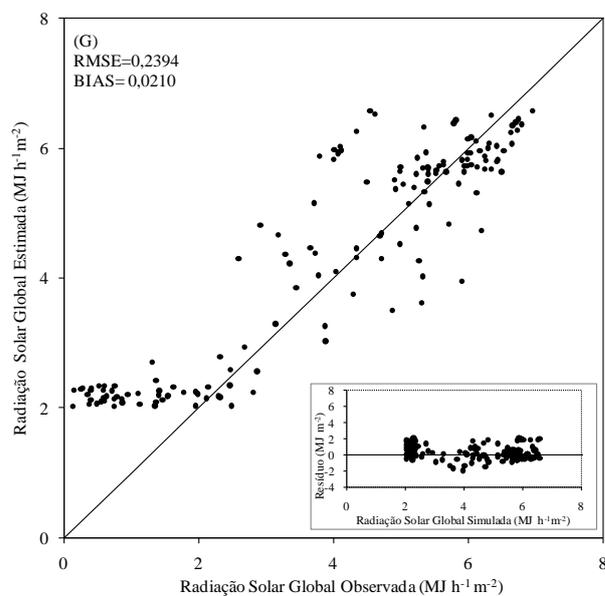
**Apêndice BJ** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de julho em Santa Maria, RS. (G) das 13 às 14h (H) das 14 às 15h, (I) das 15 às 16 h, (J) das 16 às 17h.



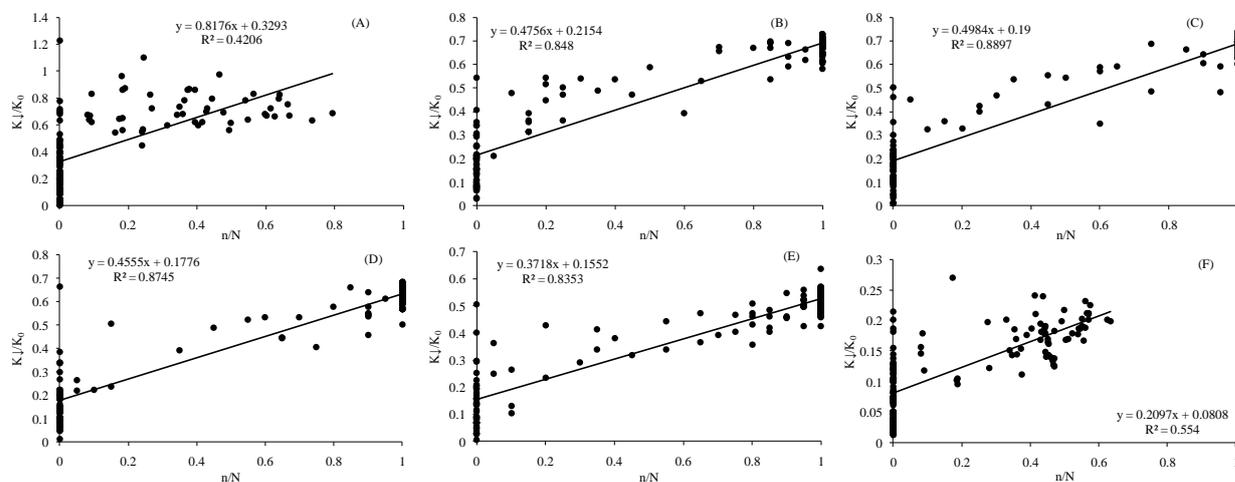
**Apêndice BK** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de julho em Santa Maria, RS. (A) das 7 às 8 h, (B) das 8 às 9h, (C) das 9 às 10h, (D) das 10 às 11h, (E) das 11 às 11h e (F) das 12 às 13h.



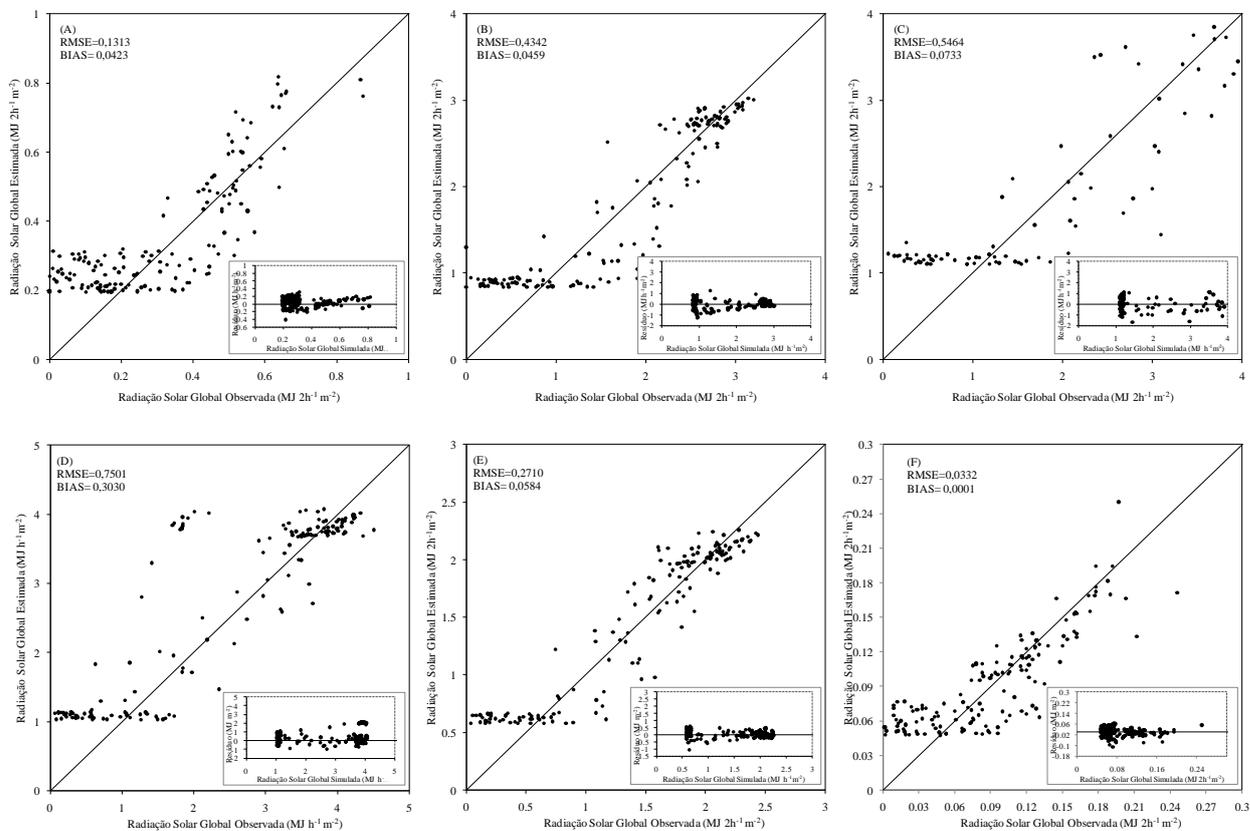
**Apêndice BL** – Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de julho em Santa Maria, RS. (G) das 13 às 14h (H) das 14 às 15h, (I) das 15 às 16 h, (J) das 16 às 17h.



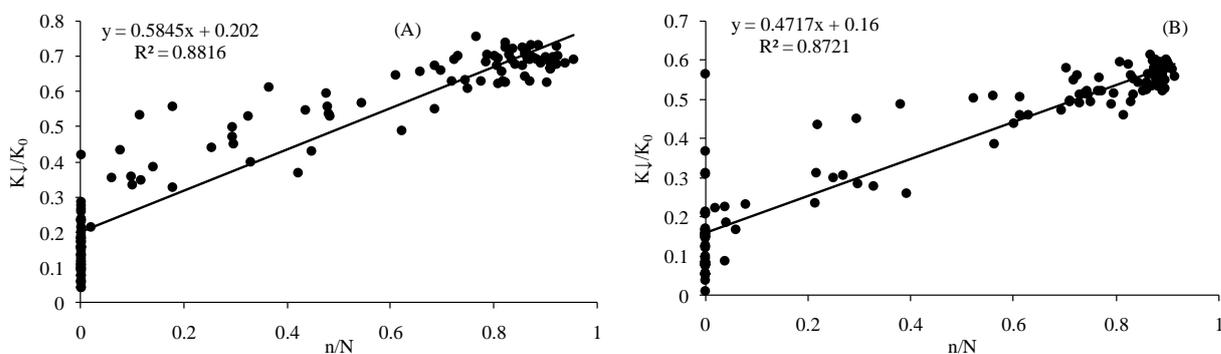
**Apêndice BM** - Equações da estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de julho em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



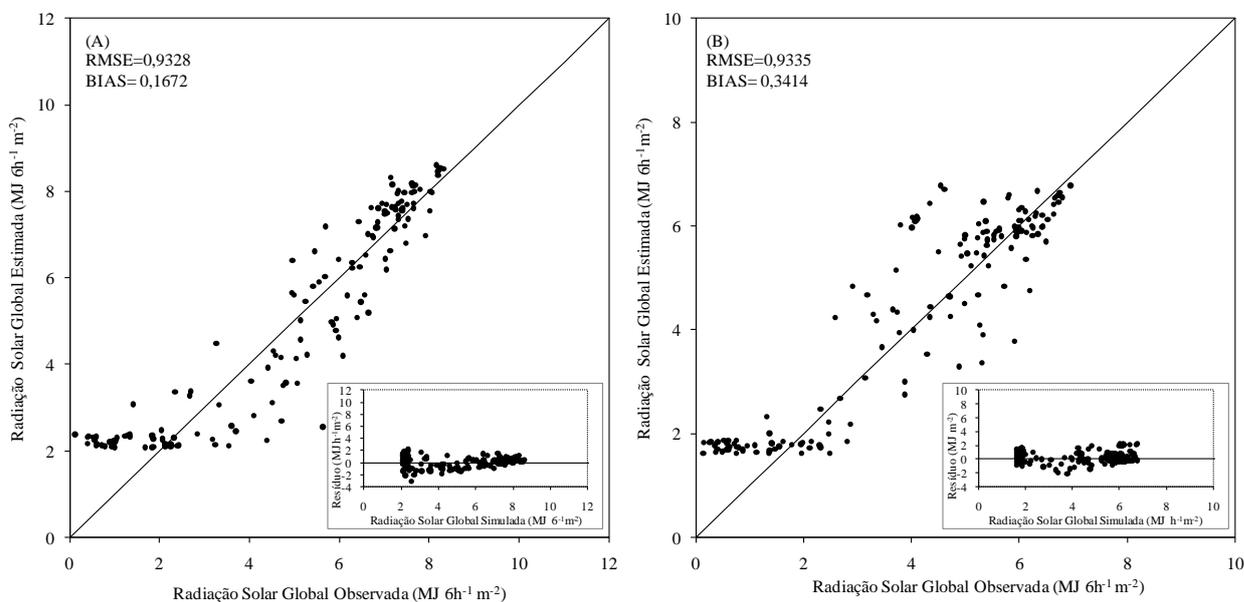
**Apêndice BN** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de julho em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



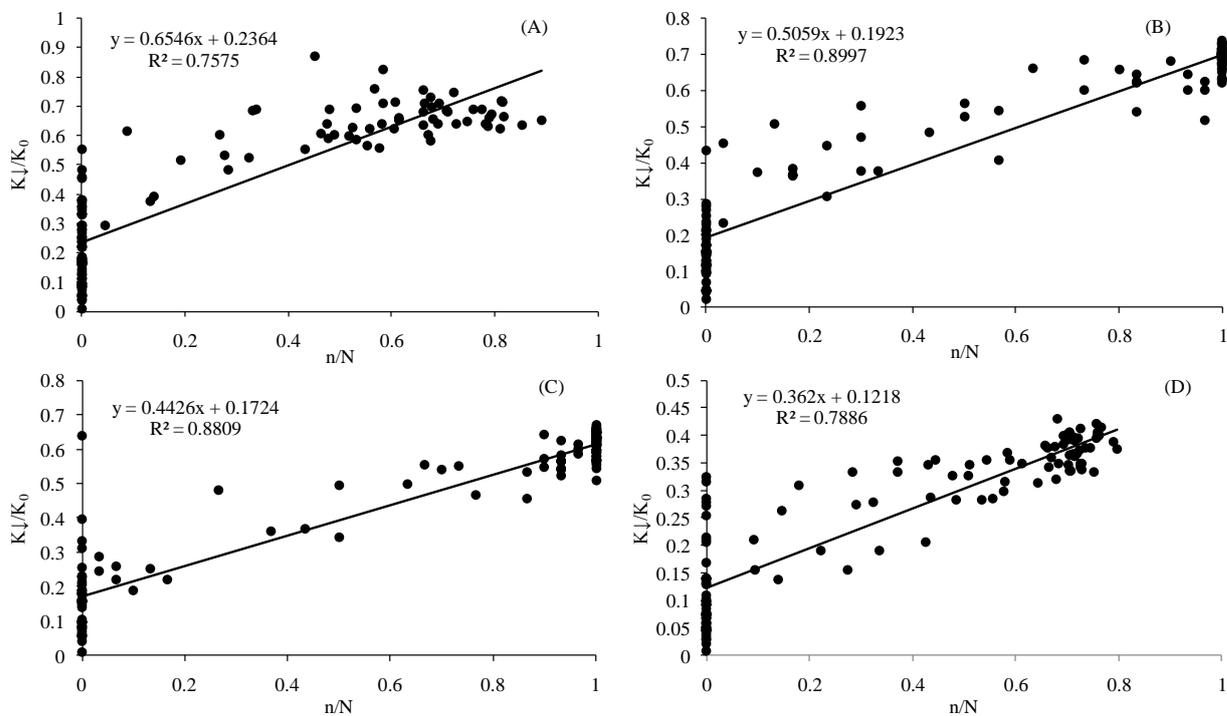
**Apêndice BO** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã e da tarde no mês de julho em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



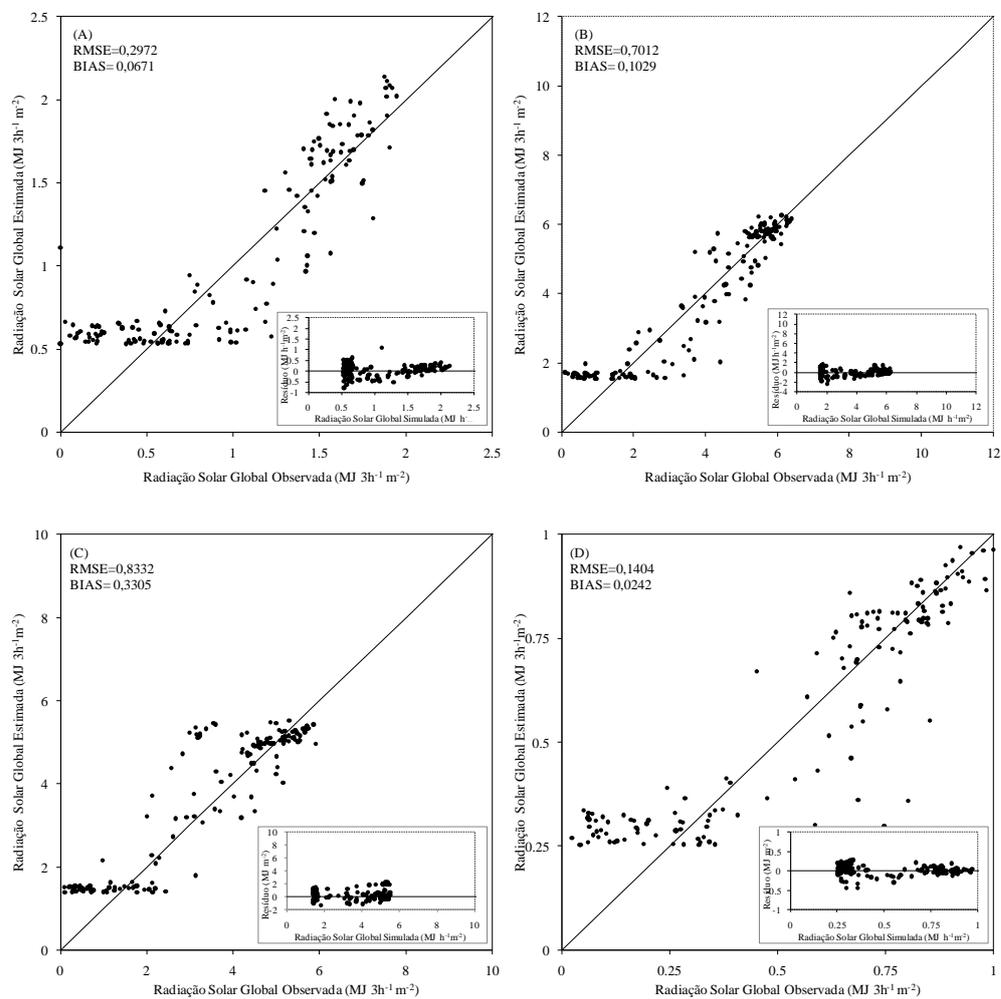
**Apêndice BP** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global global no período do dia, manhã e tarde no mês de julho em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



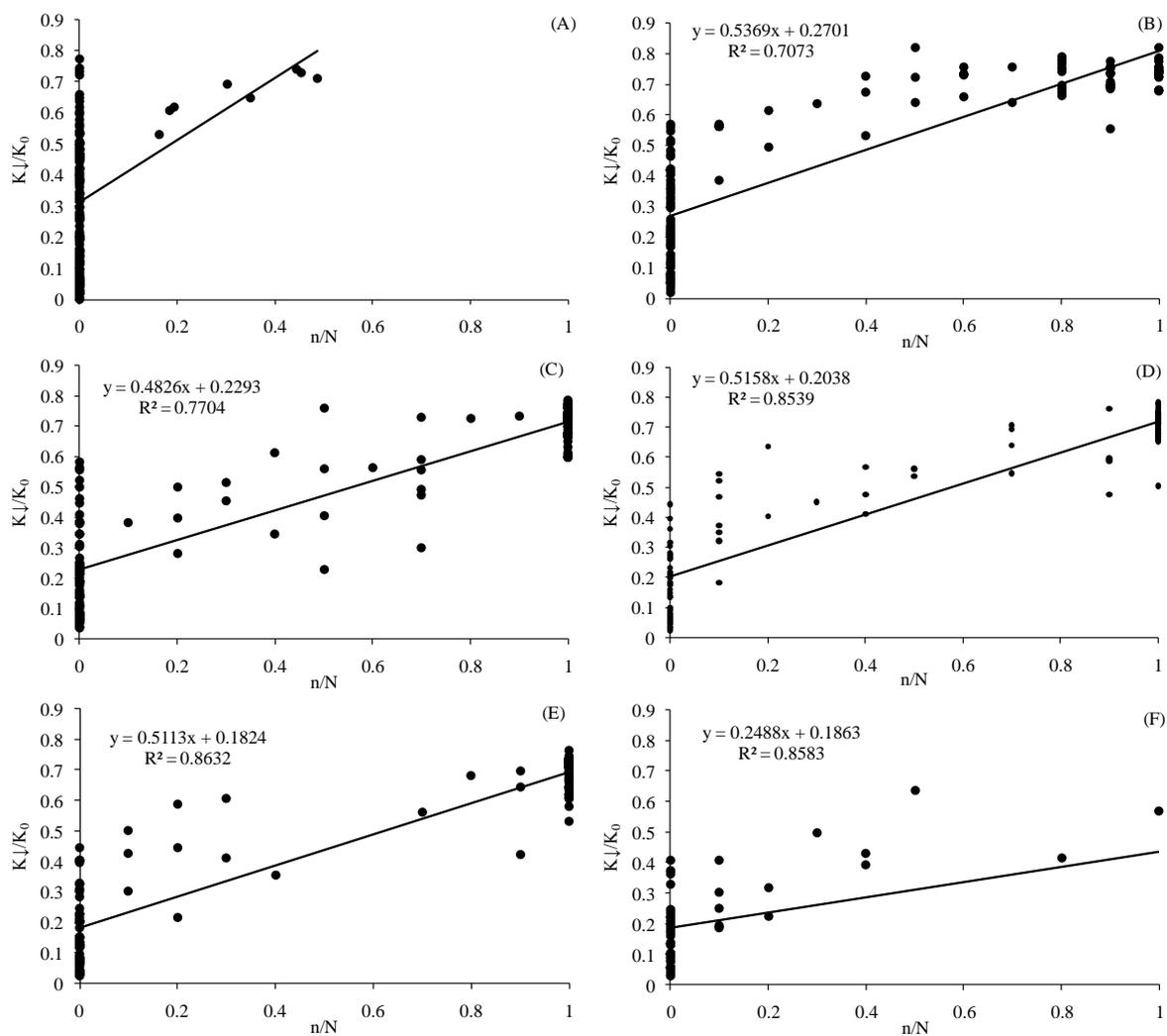
**Apêndice BQ** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã1 e manhã2 e da tarde1 e tarde2 no mês de julho em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



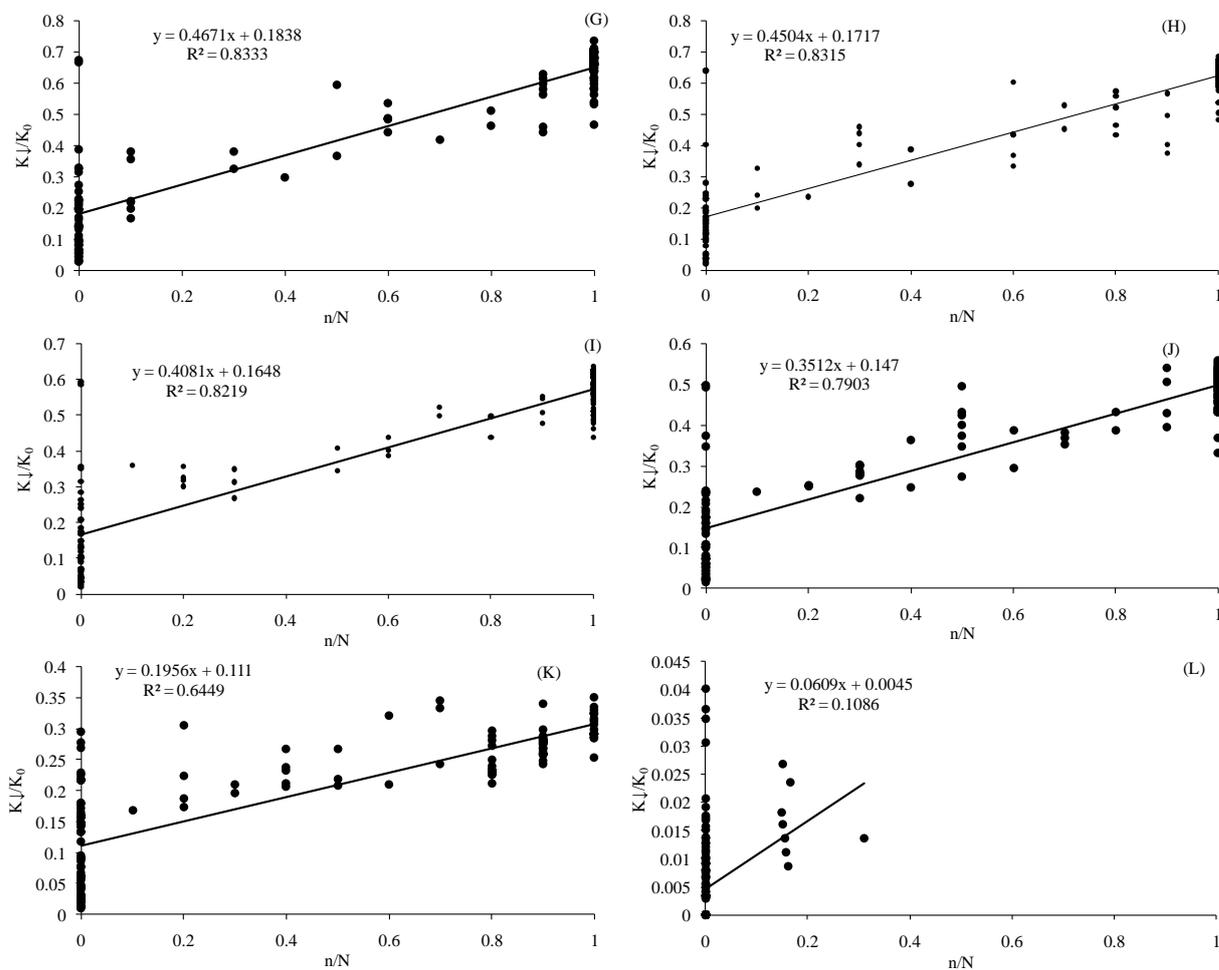
**Apêndice BR-** Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global global no período do dia da manhã1, manhã2, da tarde1 e tarde2 no mês de julho em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



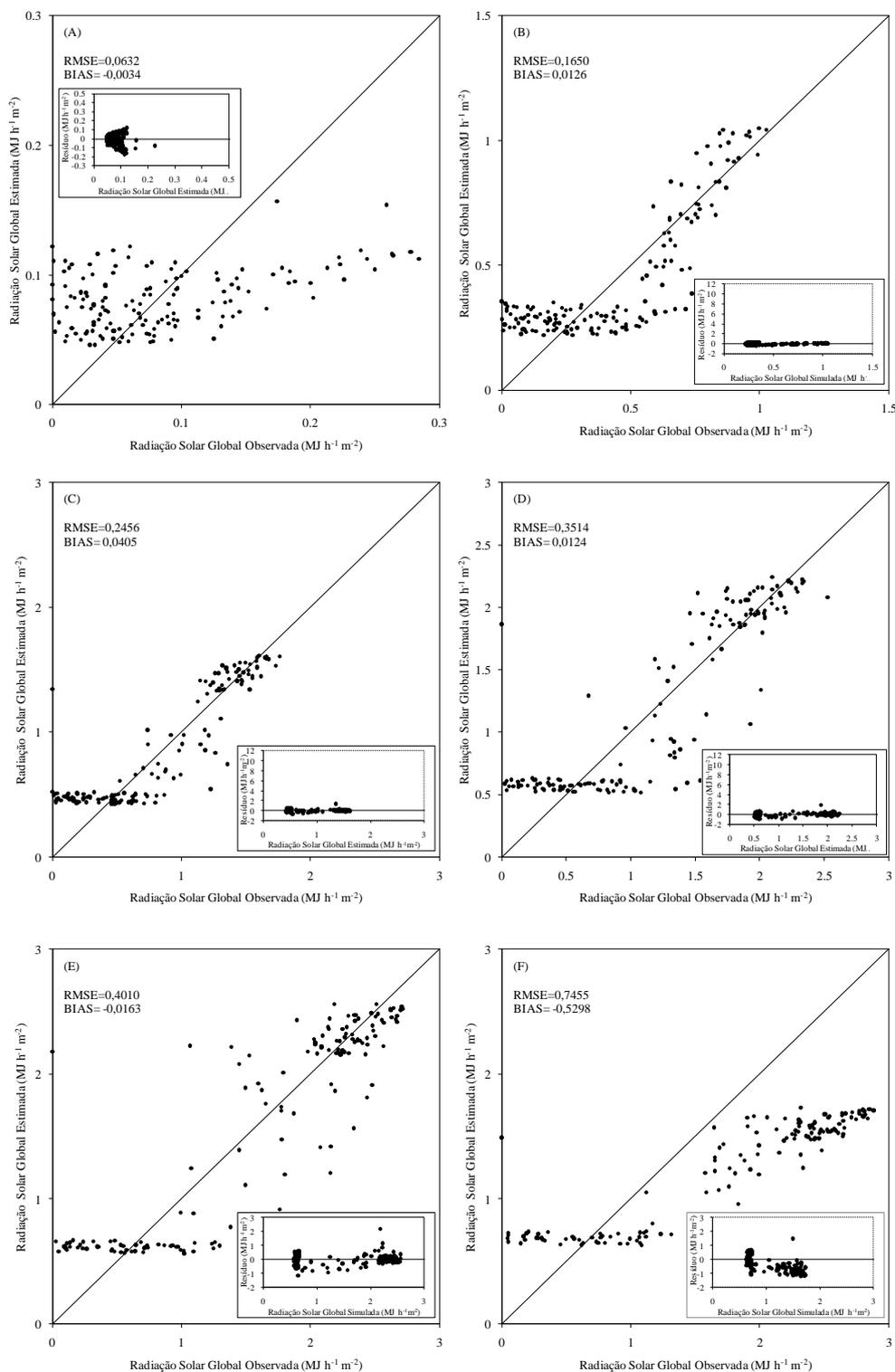
**Apêndice BS** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de agosto em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 7 h , (B) das 7 às 8h, (C) das 8 às 9h, (D) das 9 às 10h, (E) das 10 às 11h e (F) das 11 às 12h.



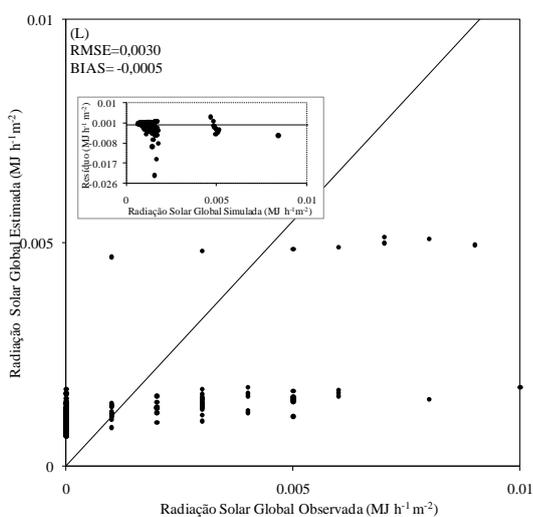
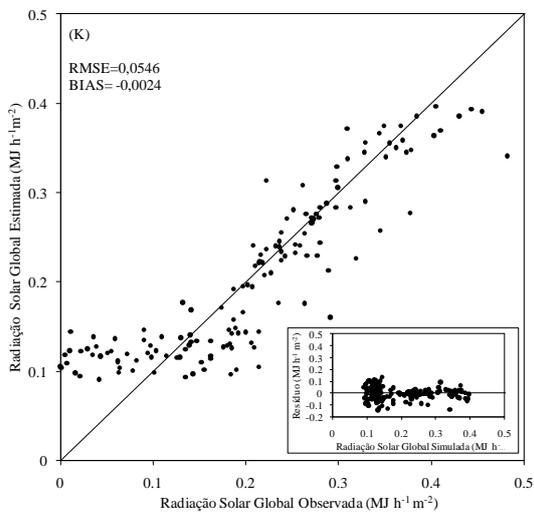
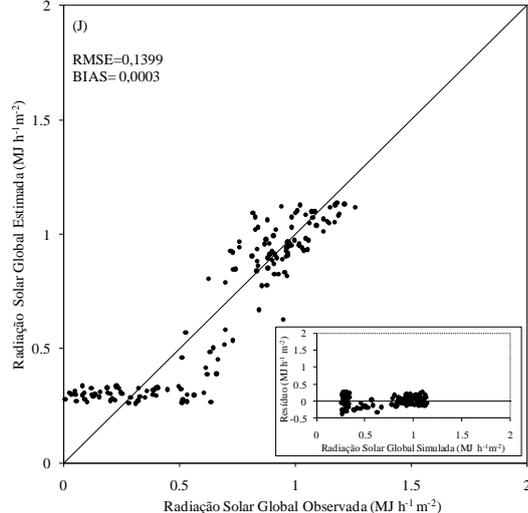
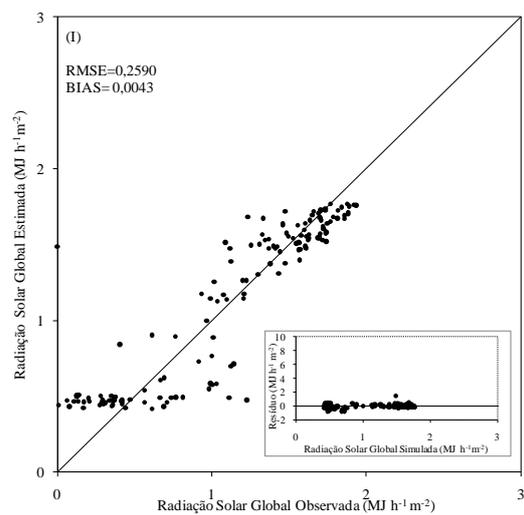
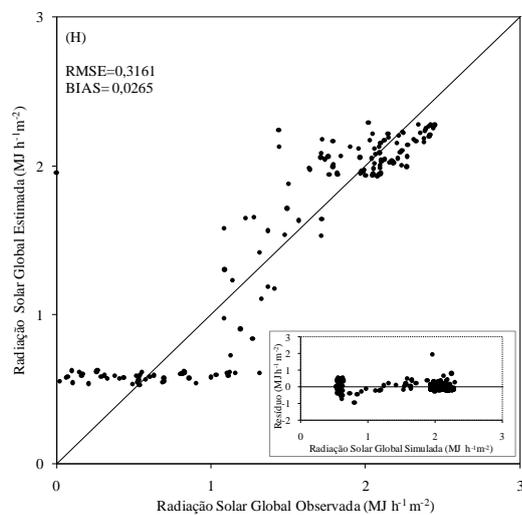
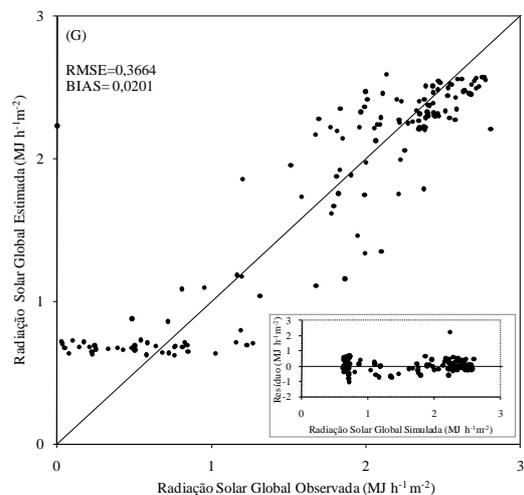
**Apêndice BT** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de agosto em Santa Maria, RS. (G) das 12 as 13h (H) das 13 às 14h, (I) das 14 às 15 h, (J) das 15 às 16h, (K) das 16 às 17h, (L) das 17 ao pôr do sol.



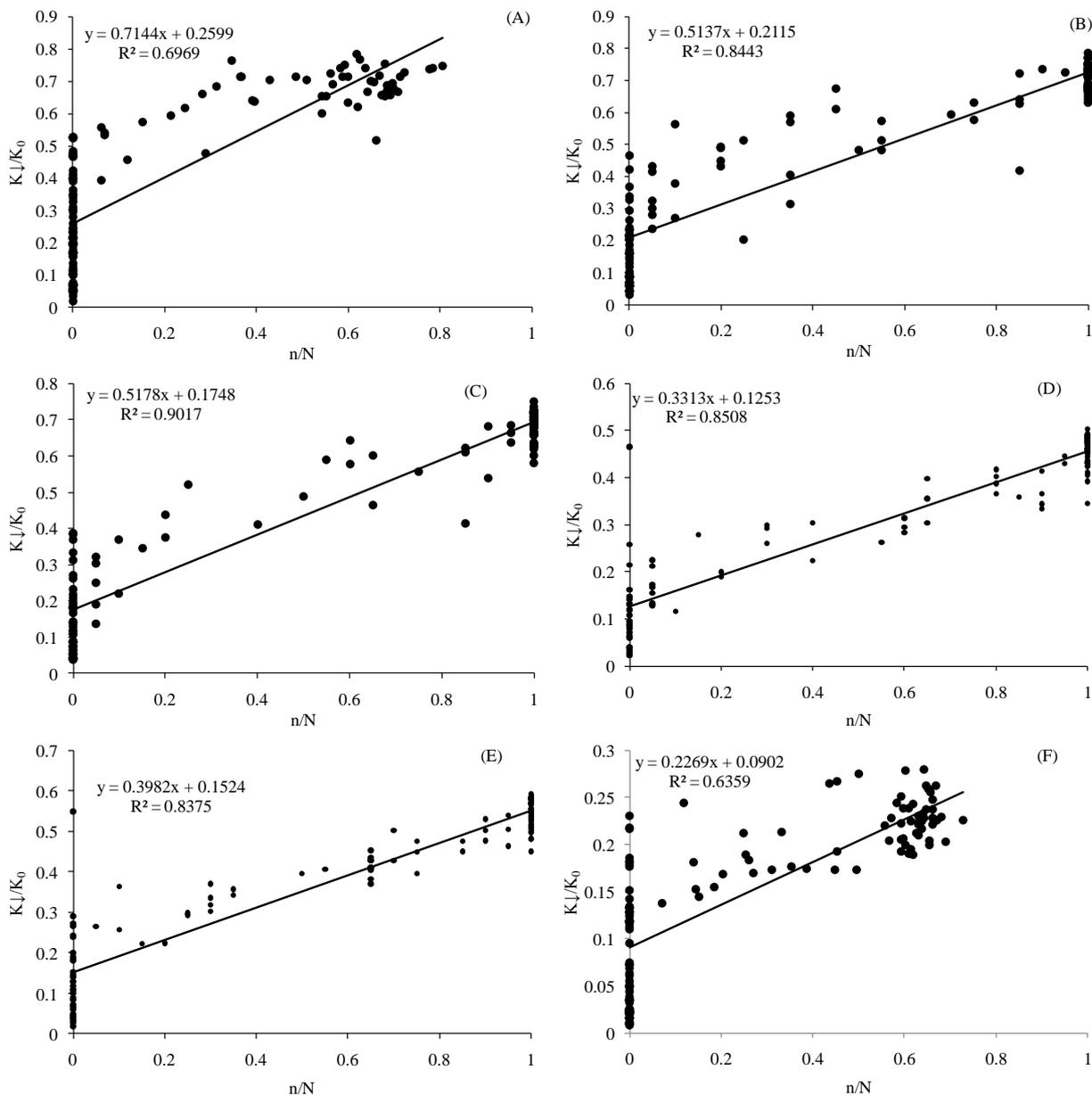
**Apêndice BU** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de agosto em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 7 h, (B) das 7 as 8h, (C) das 8 as 9h, (D) das 9 às 10h, (E) das 10 às 11h e (F) das 11 às 12h.



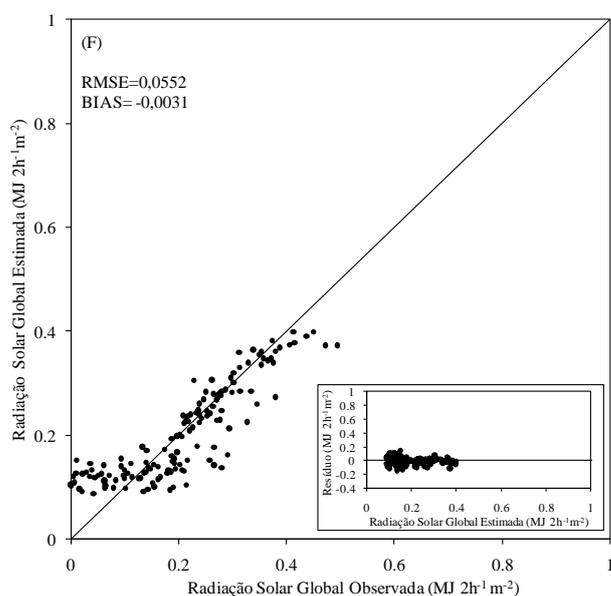
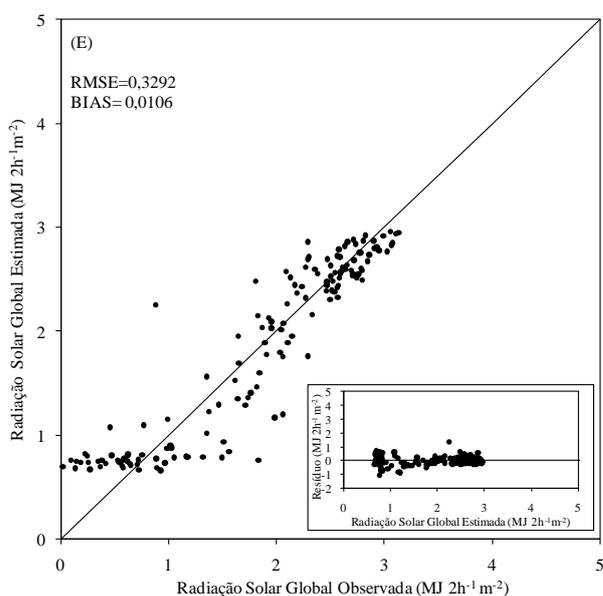
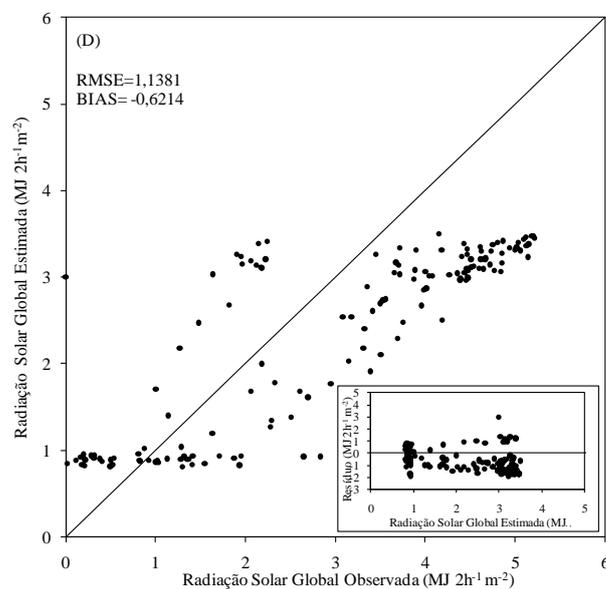
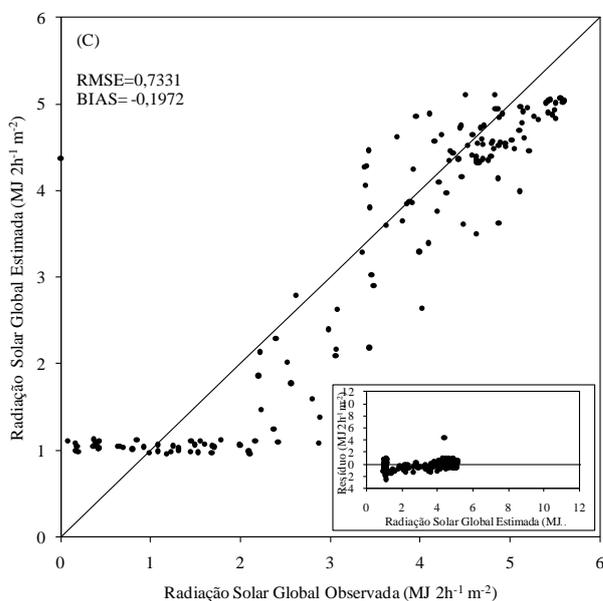
**Apêndice BV** – Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de agosto em Santa Maria, RS. (G) das 12 às 13h (H) das 13 às 14h, (I) das 14 às 15 h, (J) das 15 às 16h, (K) das 16 às 17h, (L) das 17 ao pôr do sol.



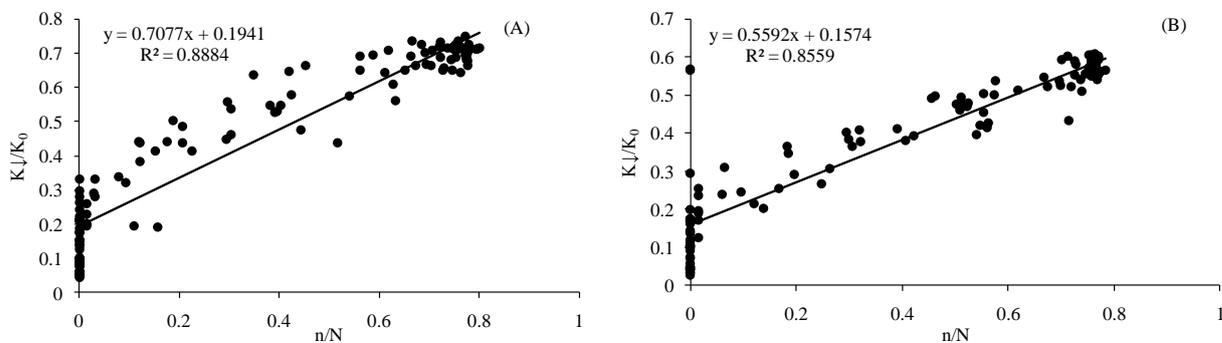
**Apêndice BW** - Equações da estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de agosto em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



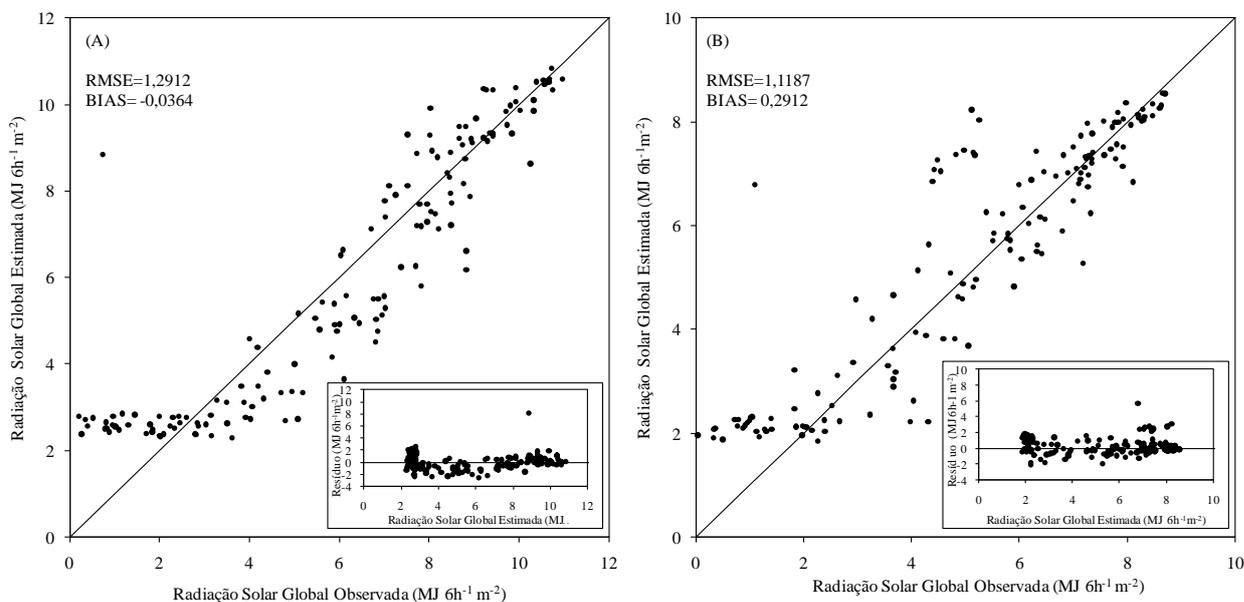
**Apêndice BX** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de agosto em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



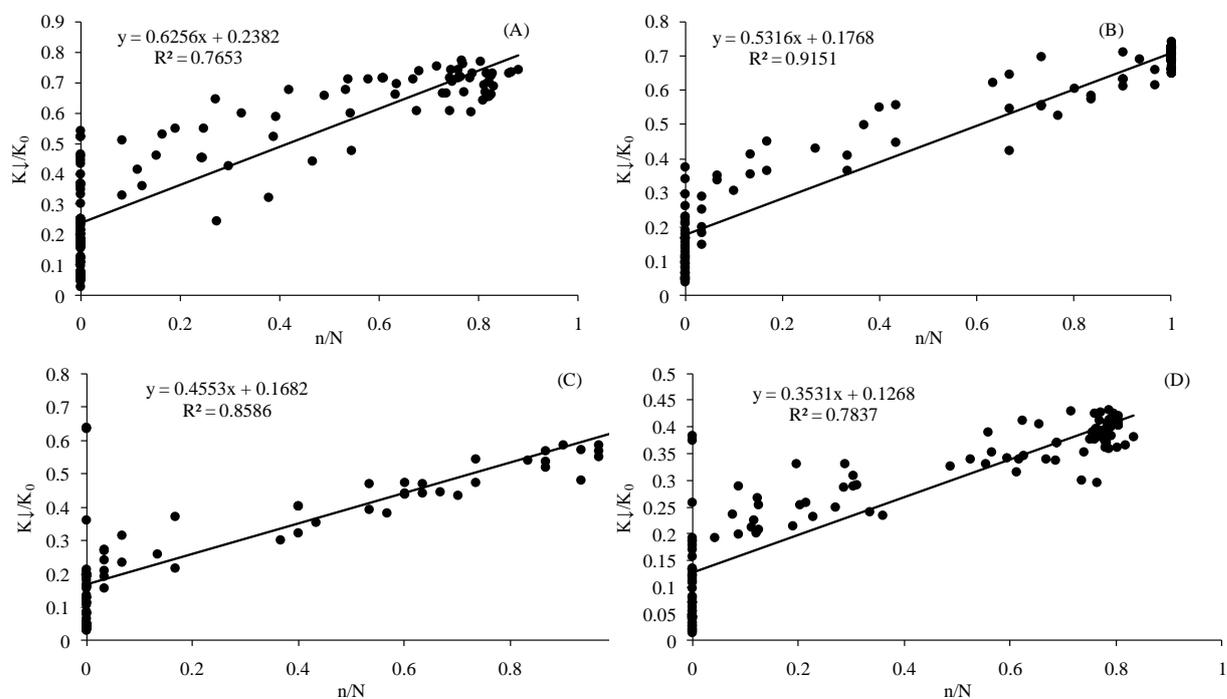
**Apêndice BY** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã e da tarde no mês de agosto em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



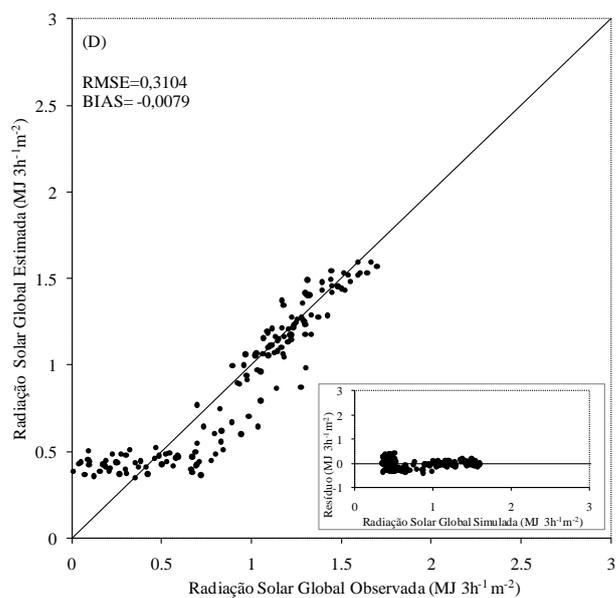
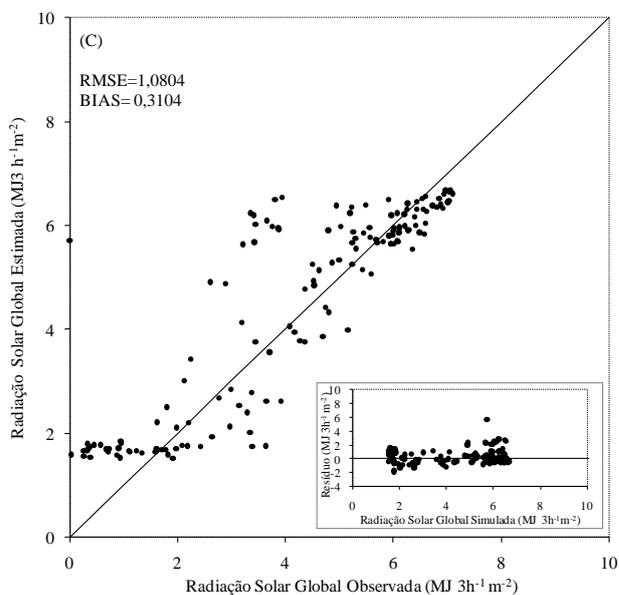
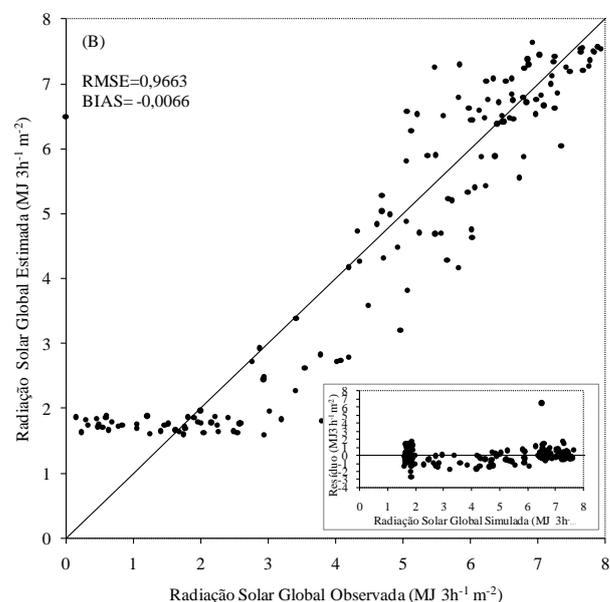
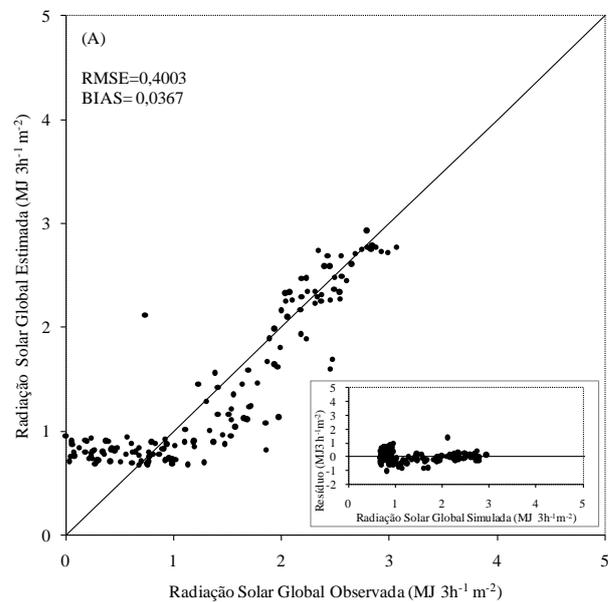
**Apêndice BZ** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global global no período do dia, manhã e tarde no mês de agosto em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



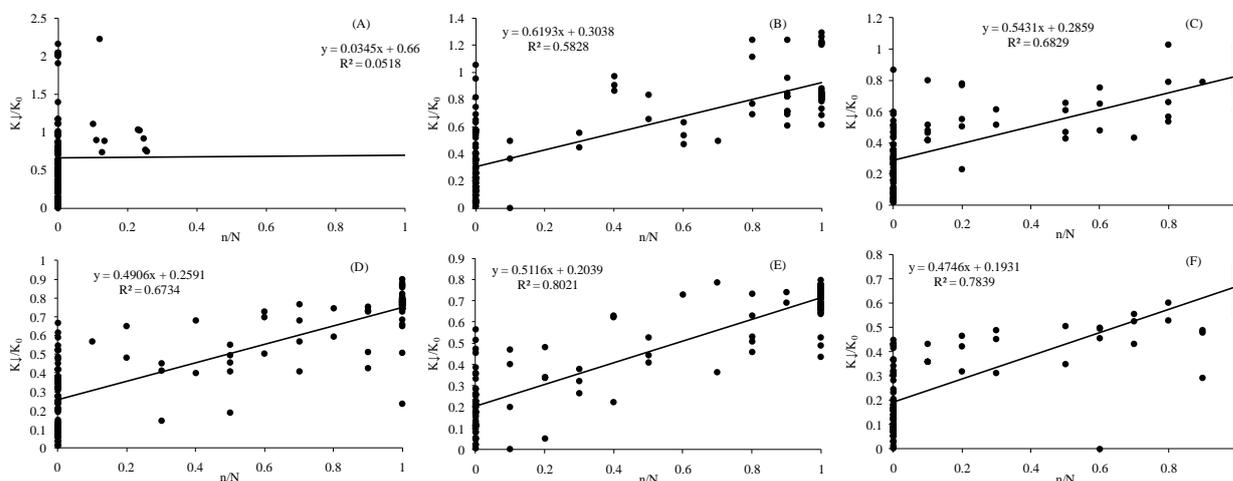
**Apêndice CA** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã1 e manhã2 e da tarde1 e tarde2 no mês de agosto em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



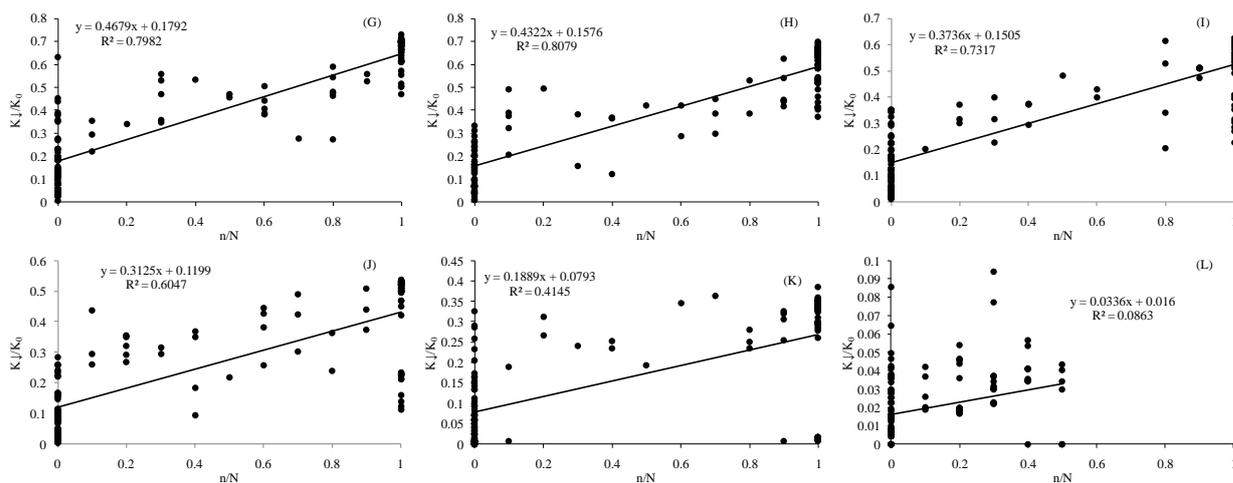
**Apêndice CB-** Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã1, manhã2, da tarde1 e tarde2 no mês de agosto em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



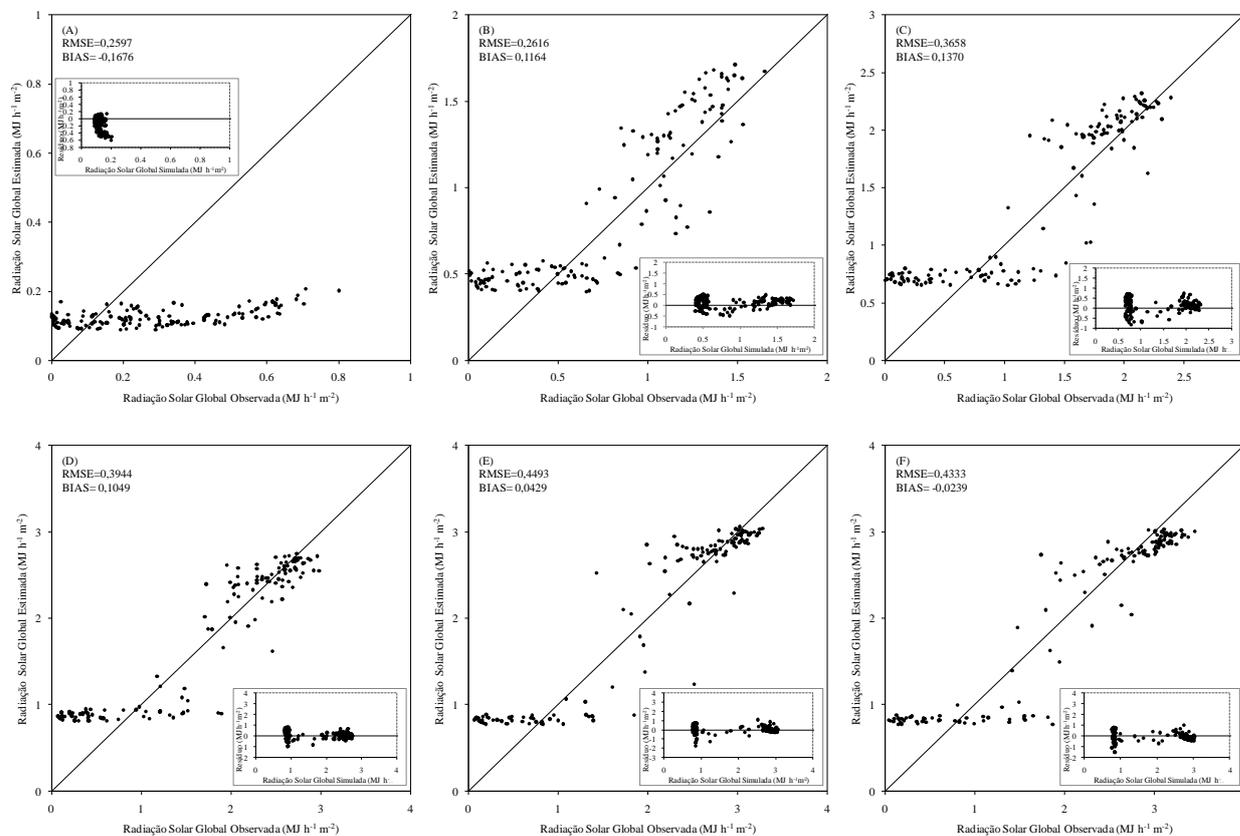
**Apêndice CC** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de setembro em Santa Maria, RS. (A) das 6 às 7 h, (B) das 7 às 8h, (C) das 8 as 9h, (D) das 9 as 10h, (E) das 10 as 11h e (F) das 11 as 12h.



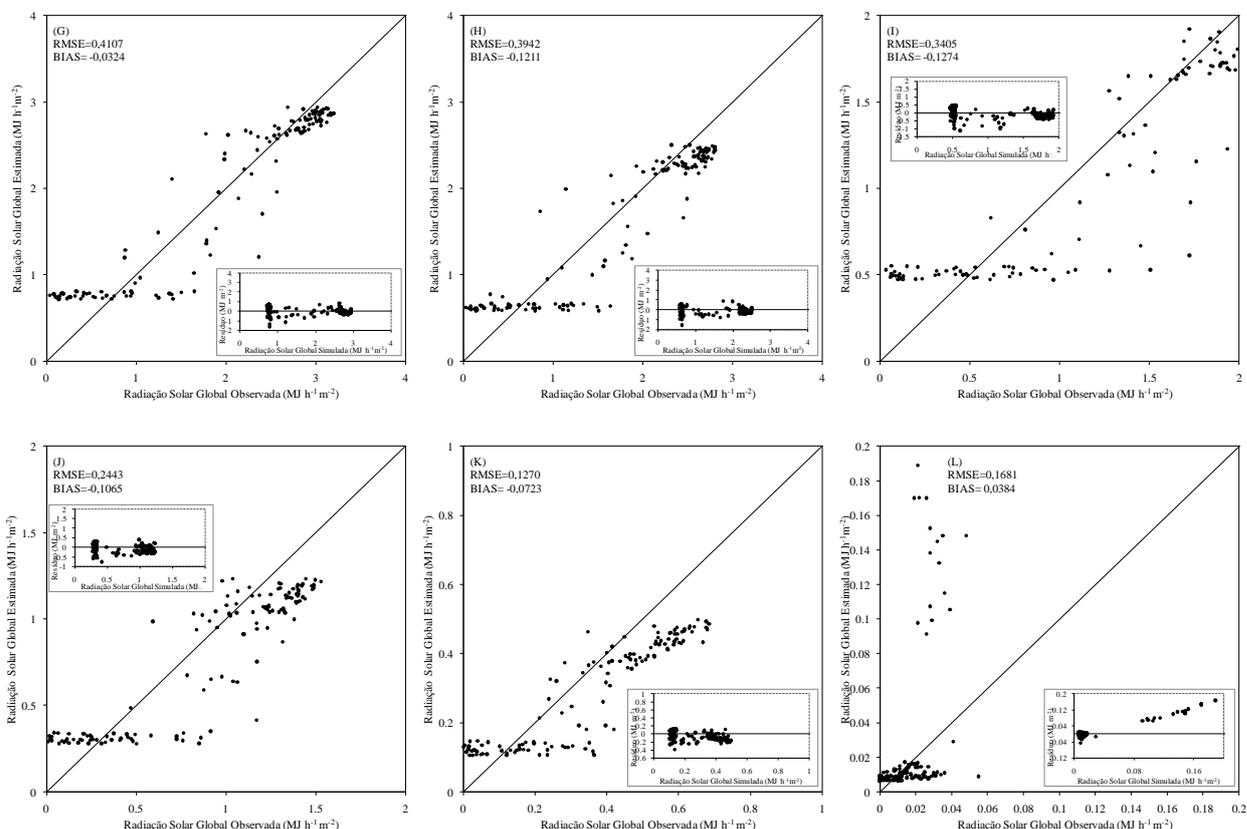
**Apêndice CD** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de setembro em Santa Maria, RS. (G) das 12 às 13h (H) das 13 às 14h, (I) das 14 às 15 h, (J) das 15 às 16h, (K) das 16 às 17h, (L) das 17h ao pôr.



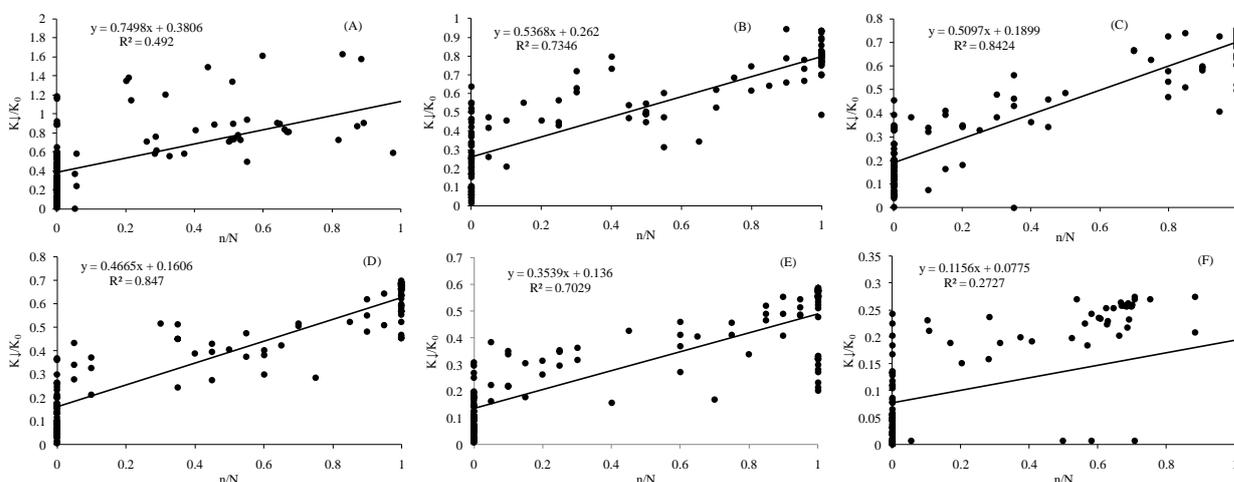
**Apêndice CE** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de setembro em Santa Maria, RS. (A) das 6 às 7 h, (B) das 7 às 8h, (C) das 8 às 9h, (D) das 9 às 10h, (E) das 10 às 11h e (F) das 11 às 12h.



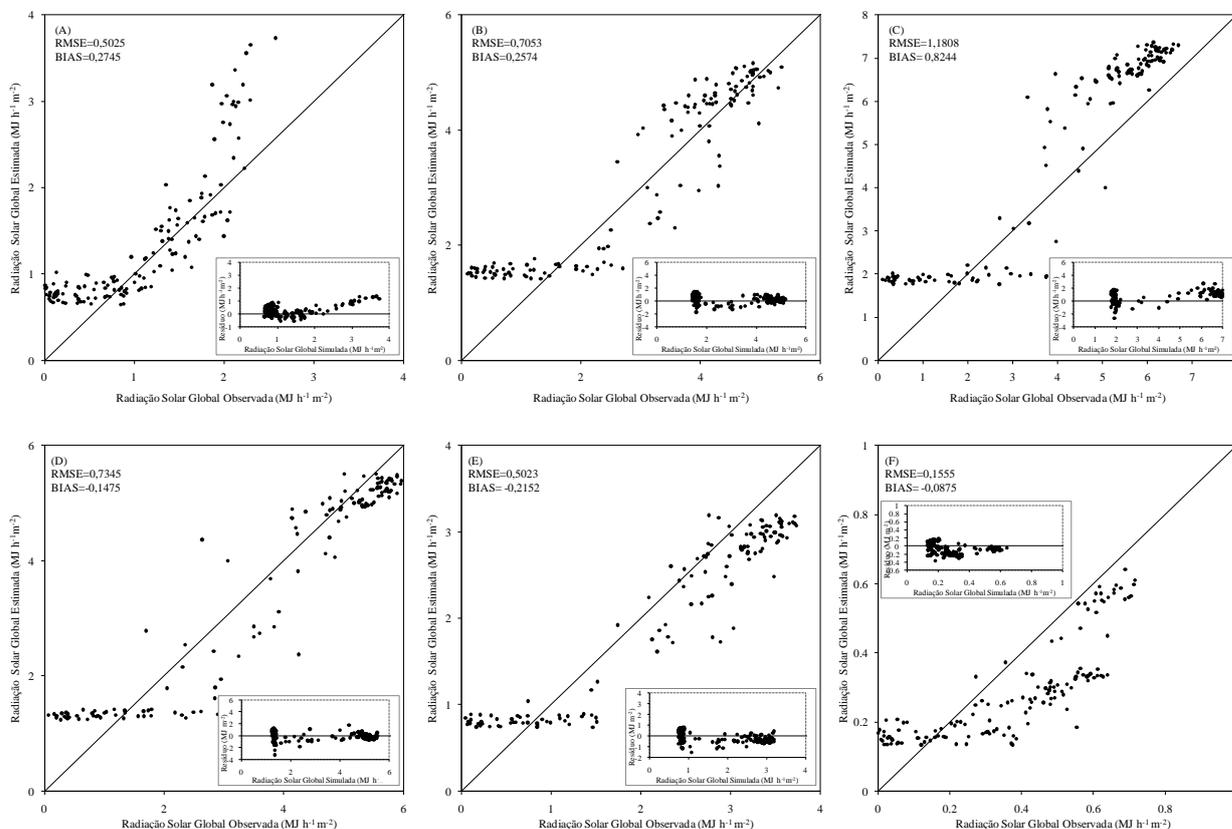
**Apêndice CF** – Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de setembro em Santa Maria, RS. (G) das 12 às 13h (H) das 13 às 14h, (I) das 14 às 15 h, (J) das 15 às 16h, (K) das 16 às 17h, (L) das 17 ao pôr do sol.



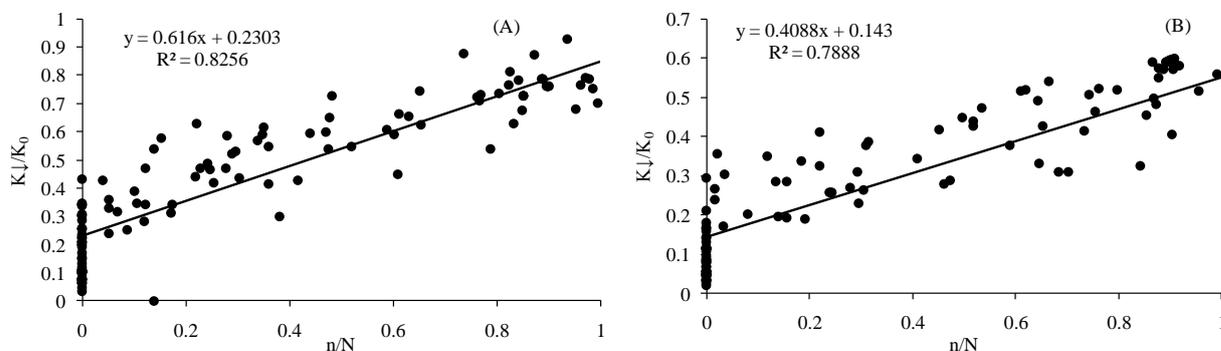
**Apêndice CG** - Equações da estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de setembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



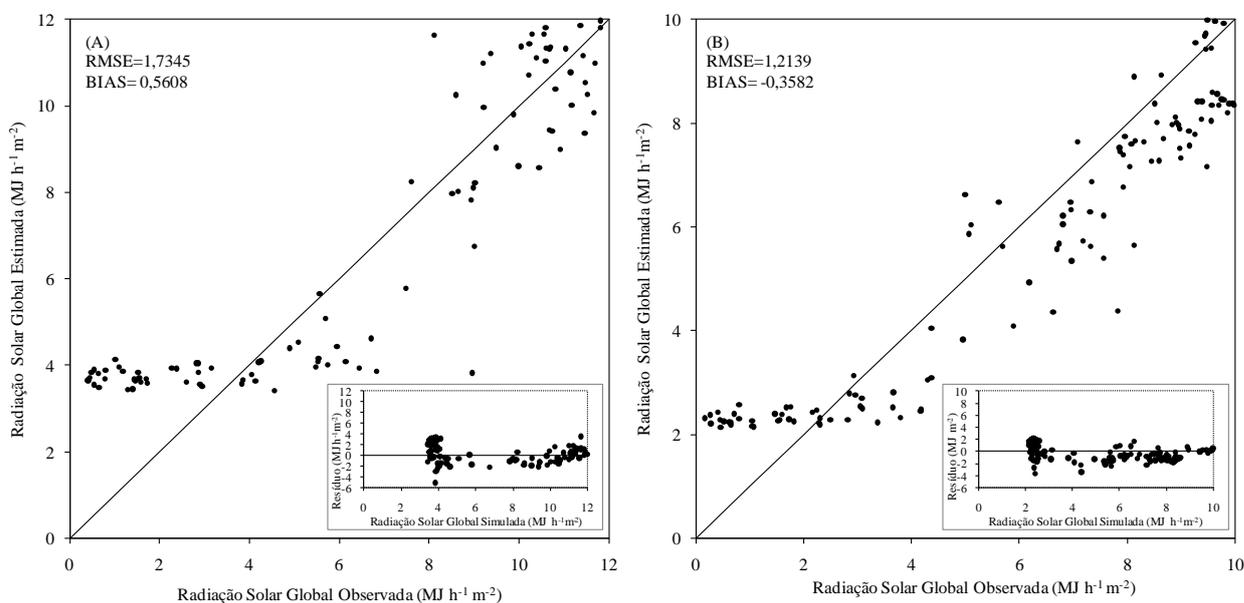
**Apêndice CH** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de setembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



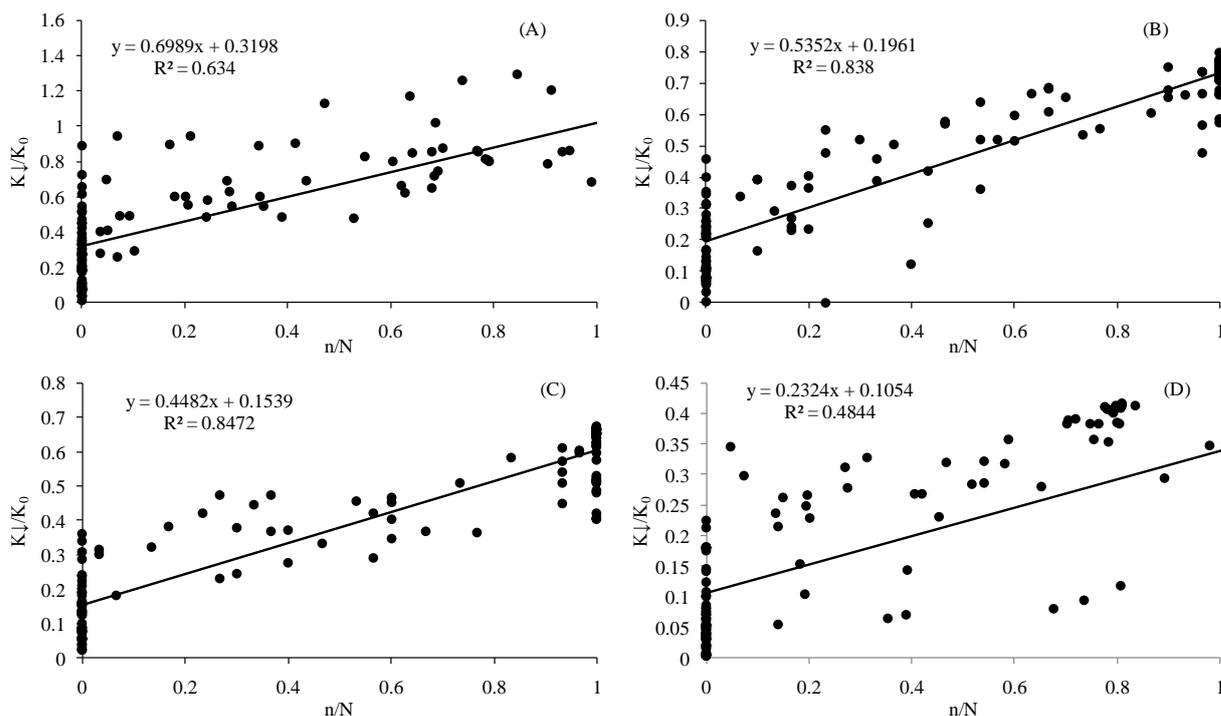
**Apêndice CI** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã e da tarde no mês de setembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



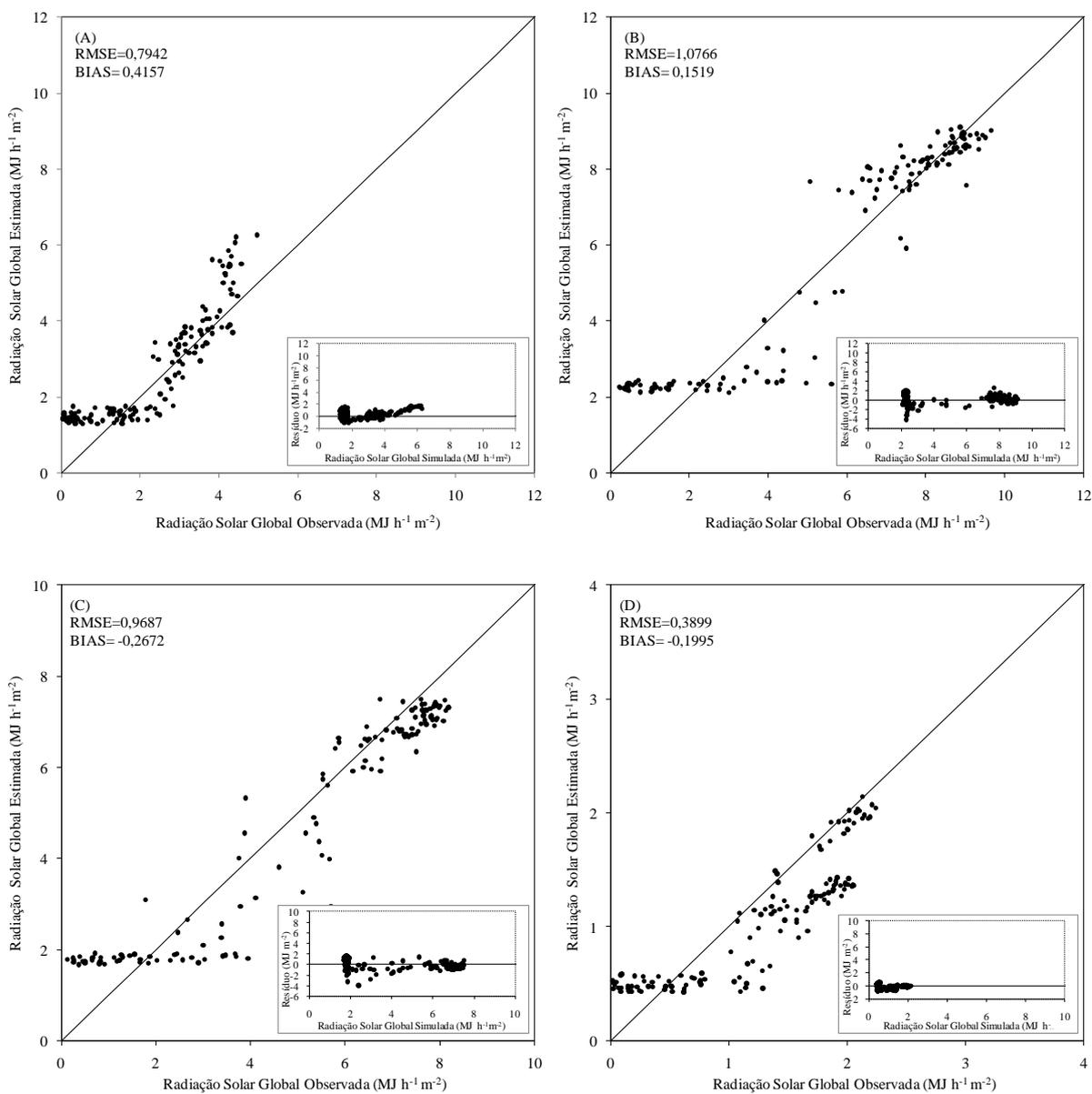
**Apêndice CJ** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global no período do dia, manhã e tarde no mês de setembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



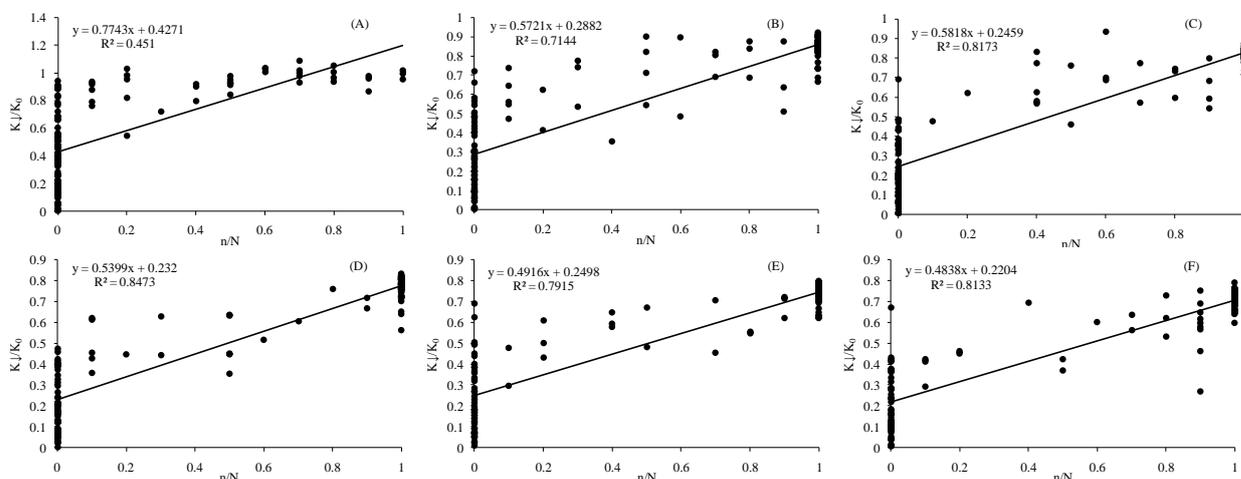
**Apêndice CK** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã e manhã2 e da tarde1 e tarde2 no mês de setembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



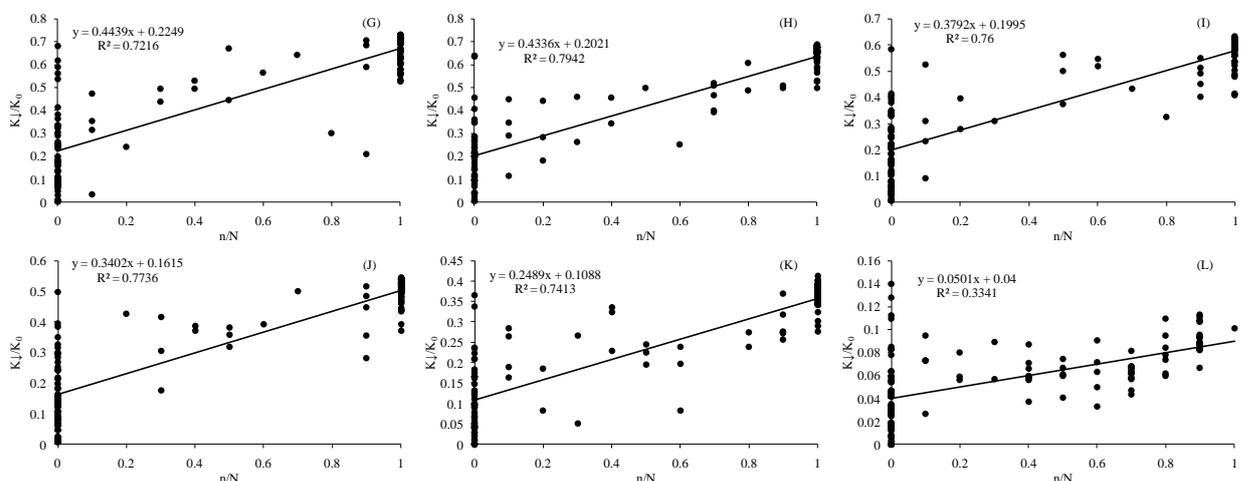
**Apêndice CL-** Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global global no período do dia da manhã1, manhã2, da tarde1 e tarde2 no mês de setembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



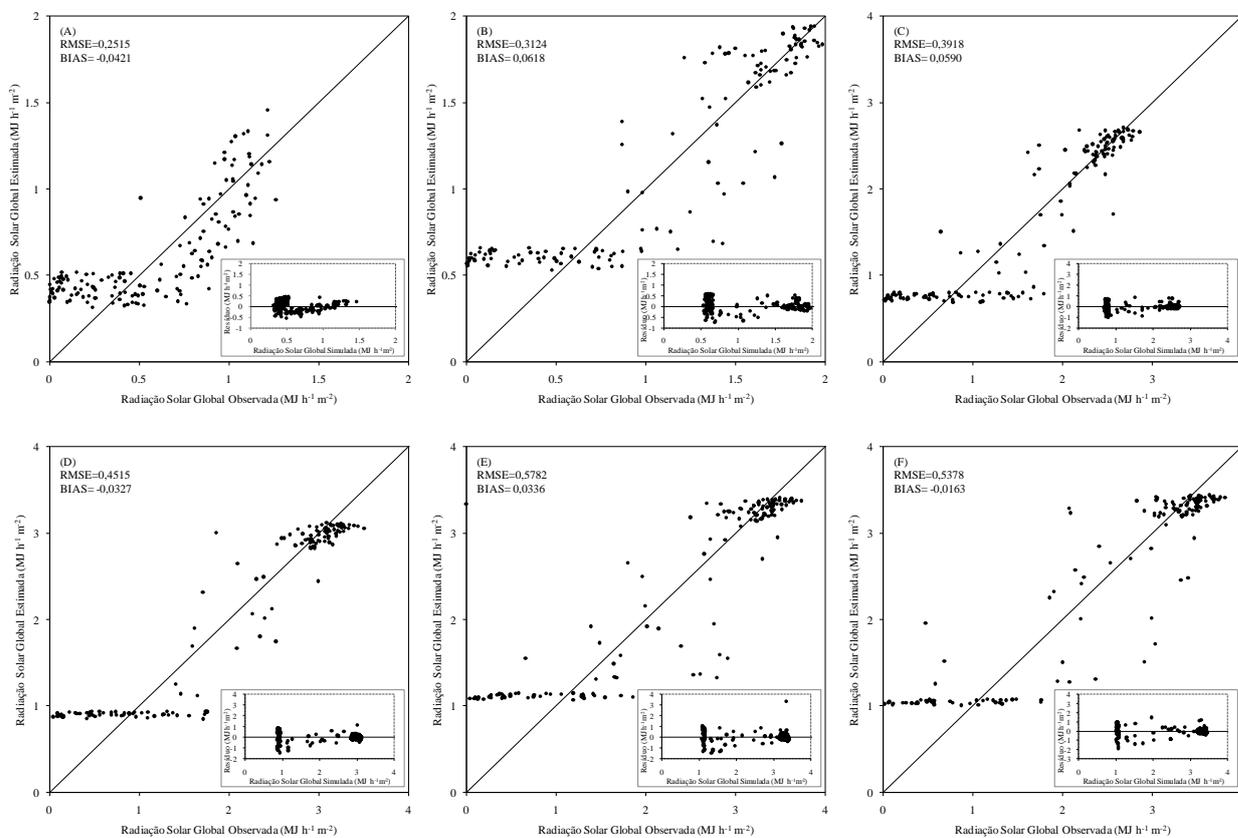
**Apêndice CM** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de outubro em Santa Maria, RS. (A) das 6 às 7 h, (B) das 7 às 8h, (C) das 8 às 9h, (D) das 9 às 10h, (E) das 10 às 11h e (F) das 11 às 12h.



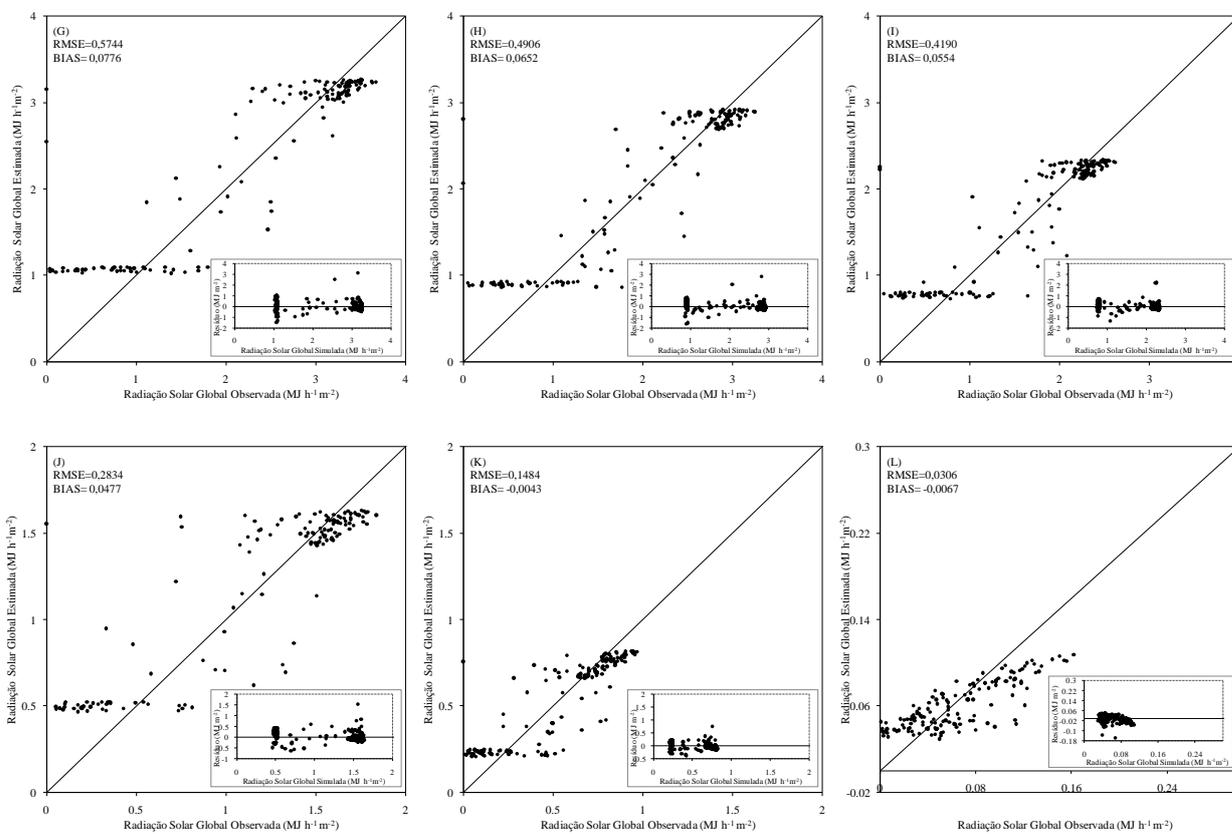
**Apêndice CN** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de outubro em Santa Maria, RS. (G) das 12 às 13h (H) das 13 às 14h, (I) das 14 às 15 h, (J) das 15 às 16h, (K) das 16 às 17h, (L) das 17 às 18h.



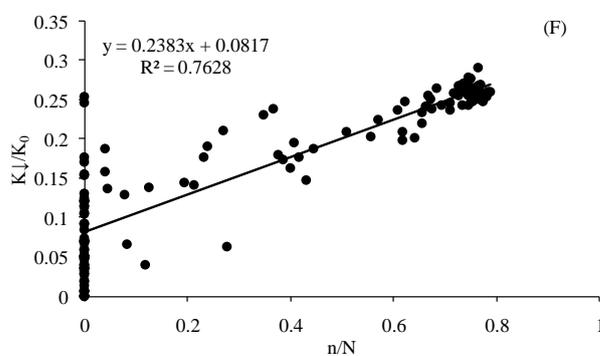
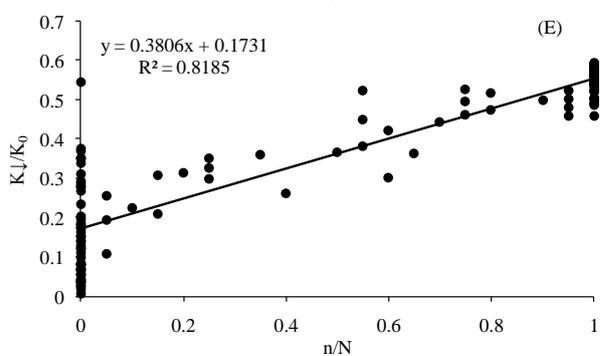
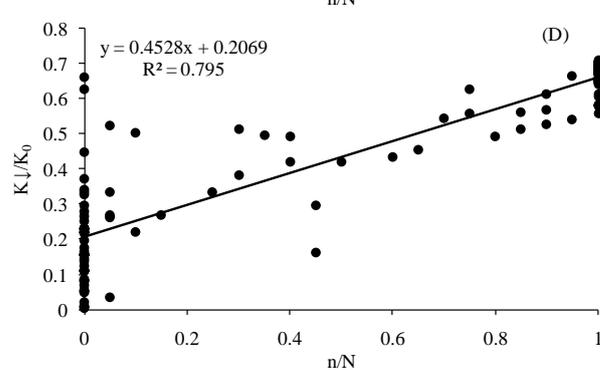
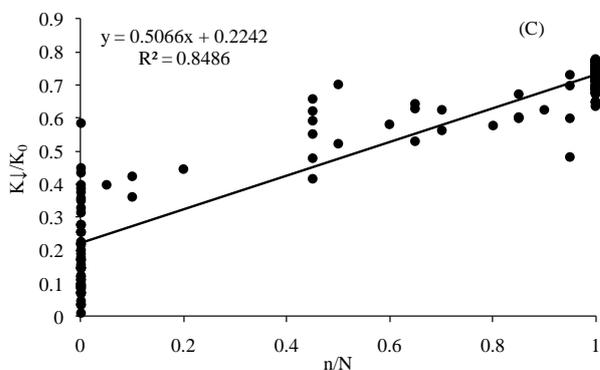
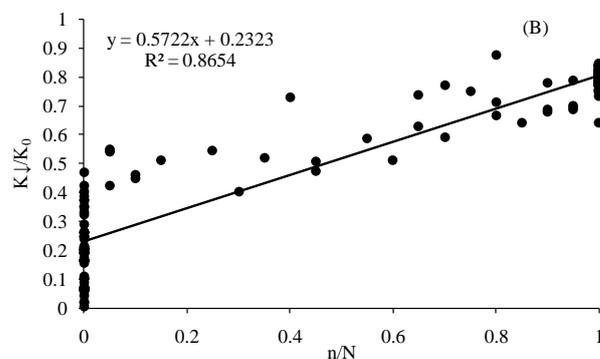
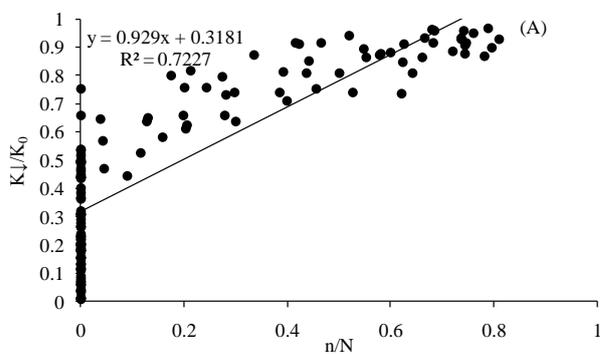
**Apêndice CO** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de outubro em Santa Maria, RS. (A) das 6 às 7 h, (B) das 7 às 8h, (C) das 8 às 9h, (D) das 9 às 10h, (E) das 10 às 11h e (F) das 11 às 12h.



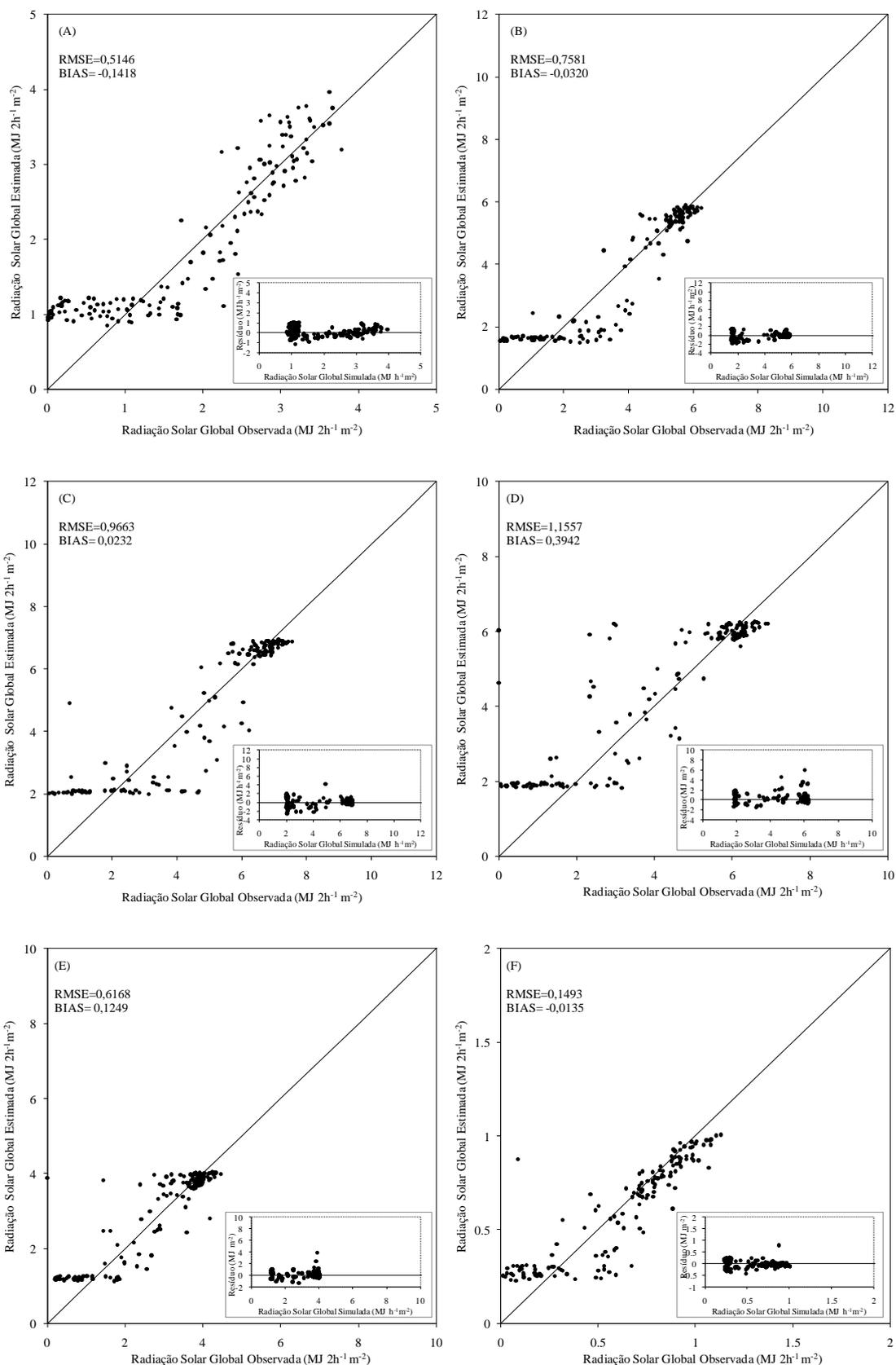
**Apêndice CP** – Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de outubro em Santa Maria, RS. (G) das 12 às 13h, (H) das 13 às 14h, (I) das 14 às 15 h, (J) das 15 às 16h, (K) das 16 às 17h, (L) das 17 às 18h.



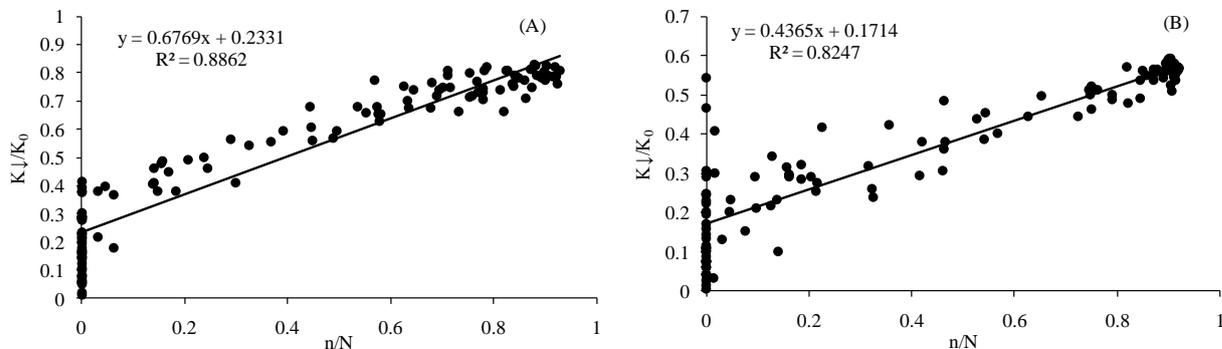
**Apêndice CQ** - Equações da estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de outubro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



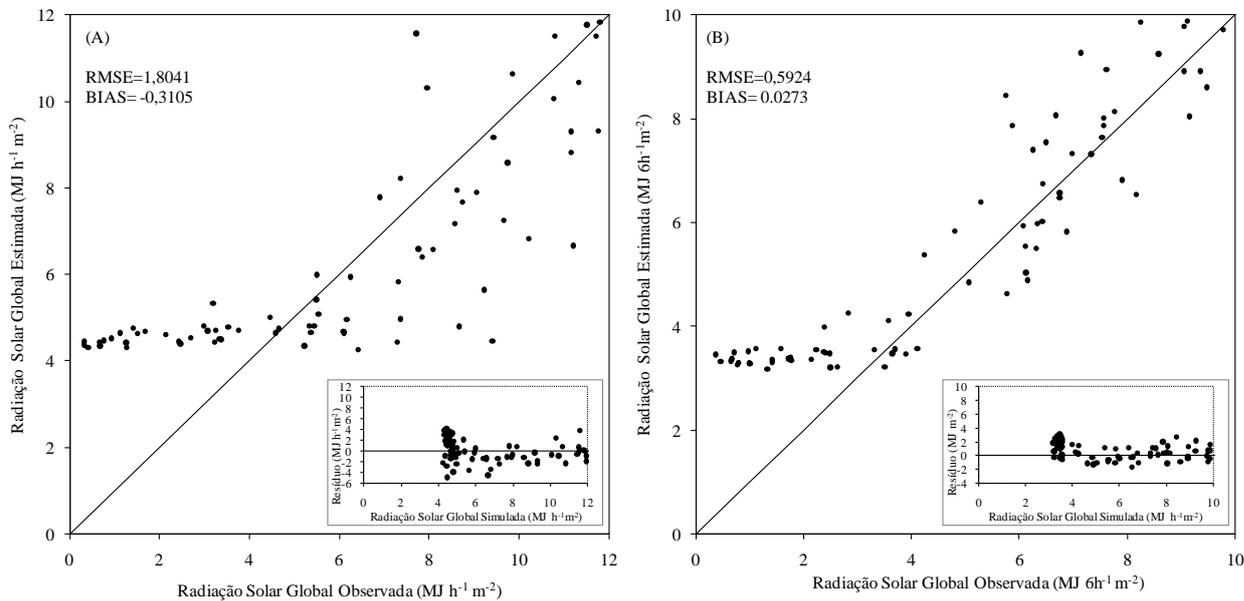
**Apêndice CR -** Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de outubro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 as 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



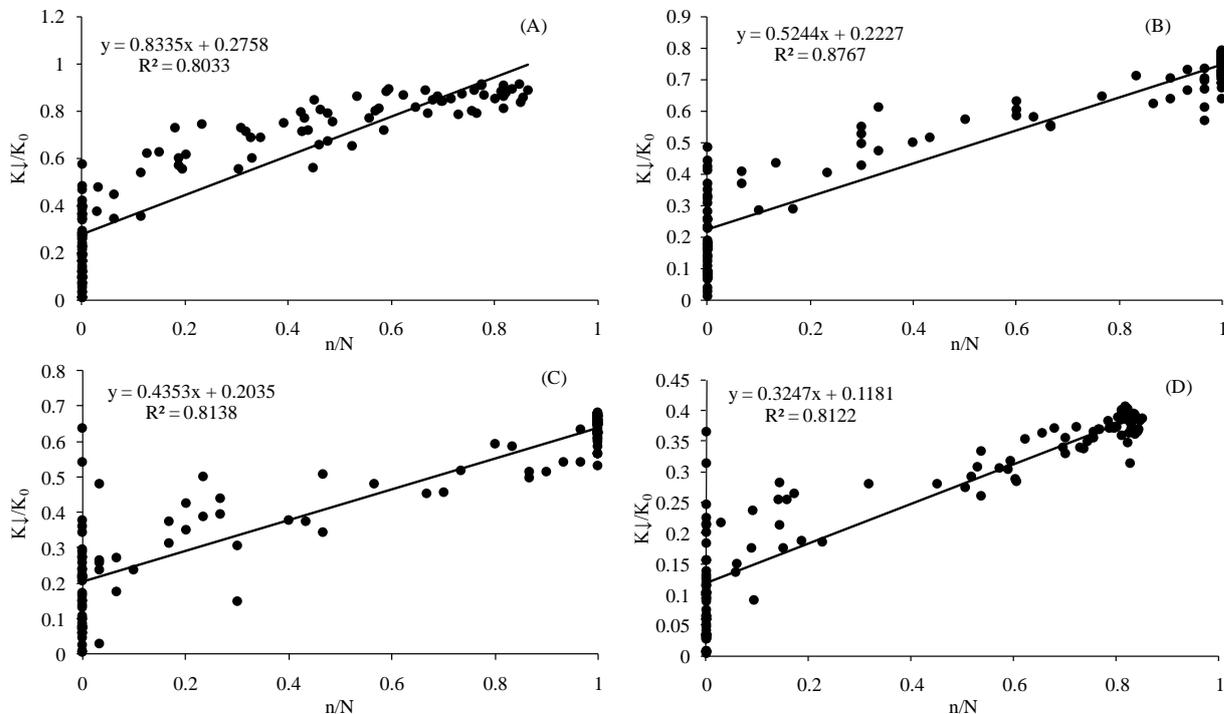
**Apêndice CS** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã e da tarde no mês de outubro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



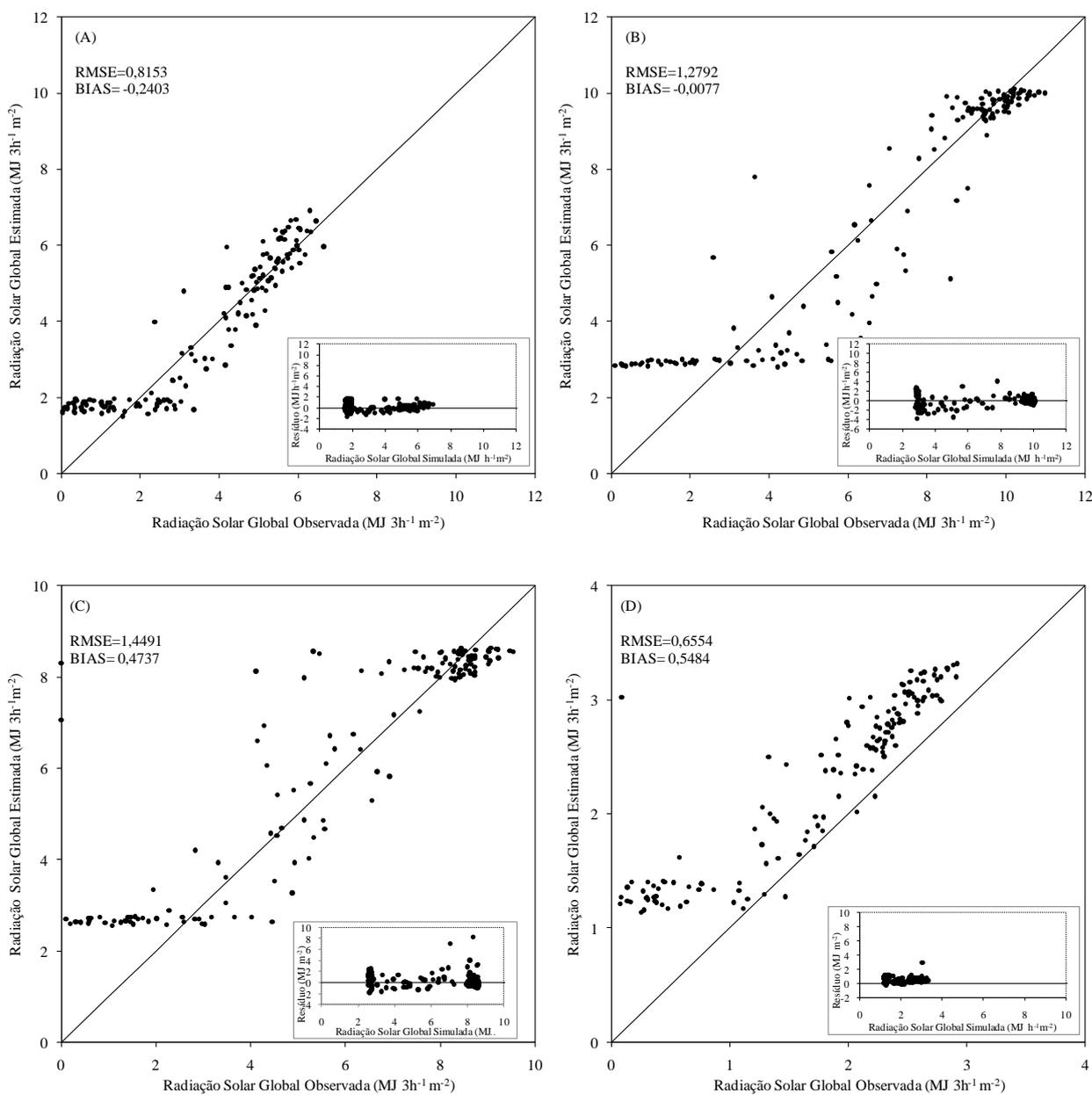
**Apêndice CT** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global no período do dia, manhã e tarde no mês de outubro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



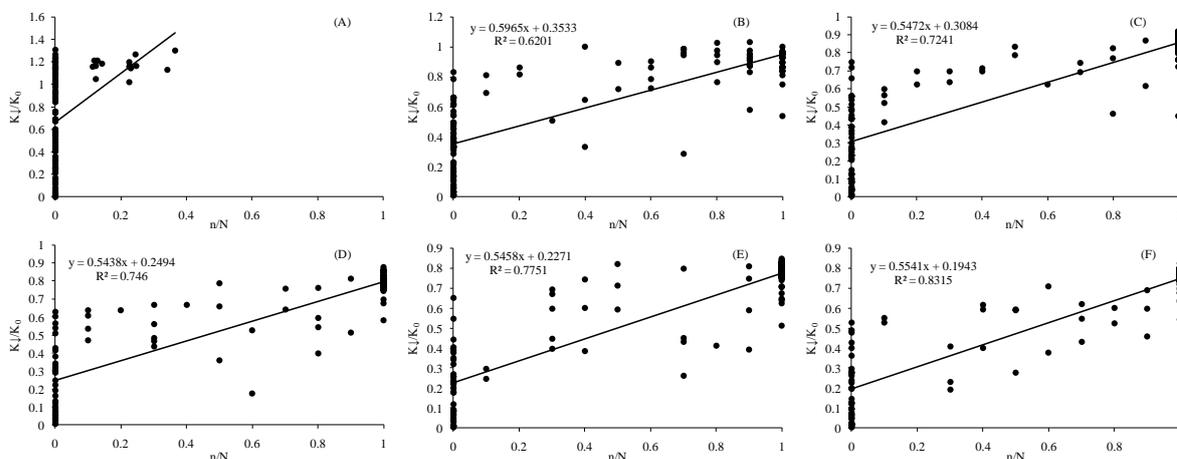
**Apêndice CU** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã e manhã2 e da tarde1 e tarde2 no mês de outubro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



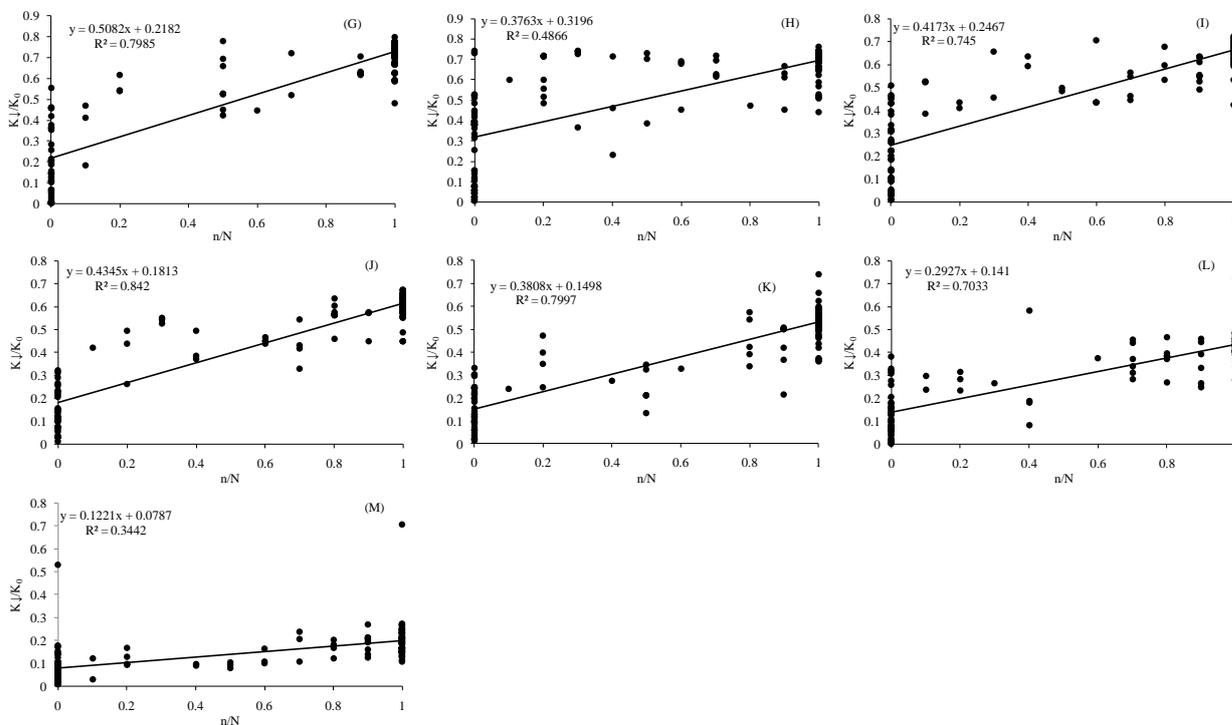
**Apêndice CV-** Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global global no período do dia da manhã1, manhã2, da tarde1 e tarde2 no mês de outubro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



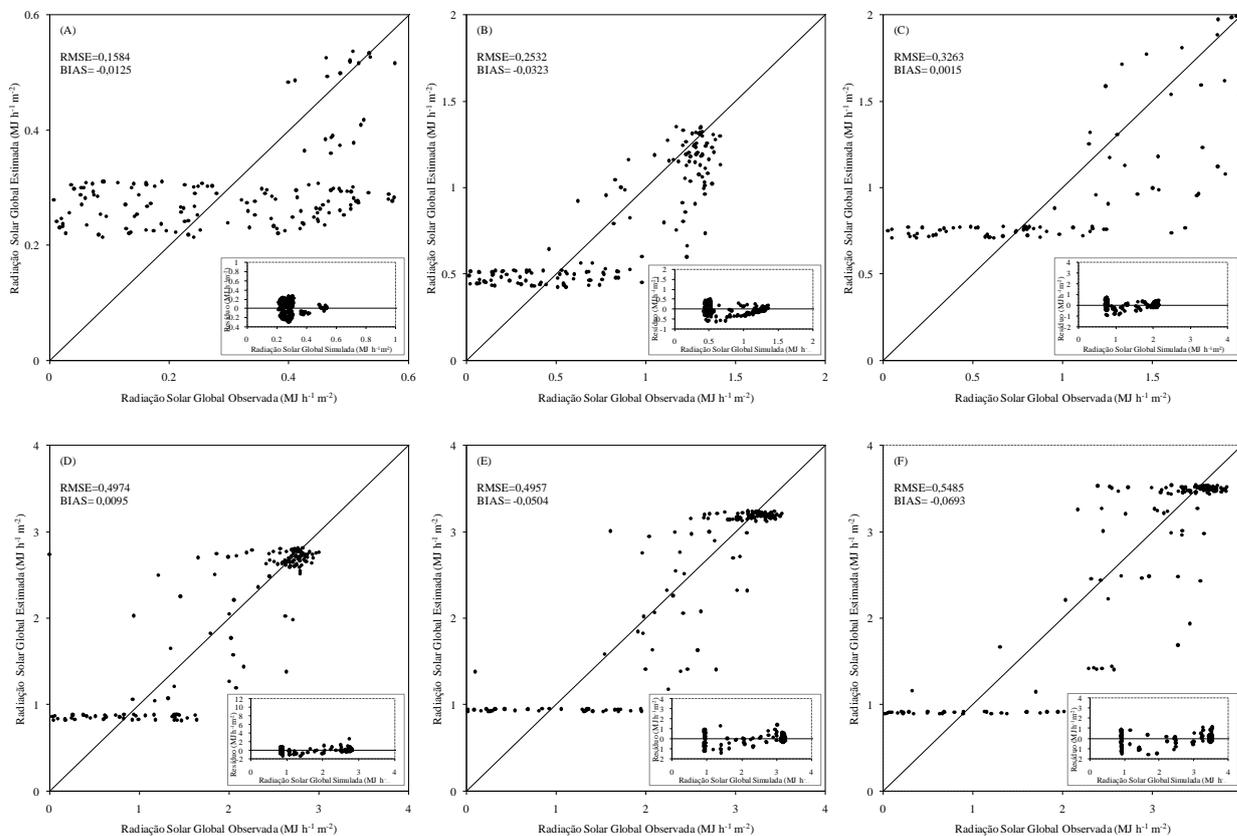
**Apêndice CW-** Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de novembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 6h, (B) das 6 às 7 h, (C) das 7 às 8h, (D) das 8 às 9h, (E) das 9 às 10h, (F) das 10 às 11h.



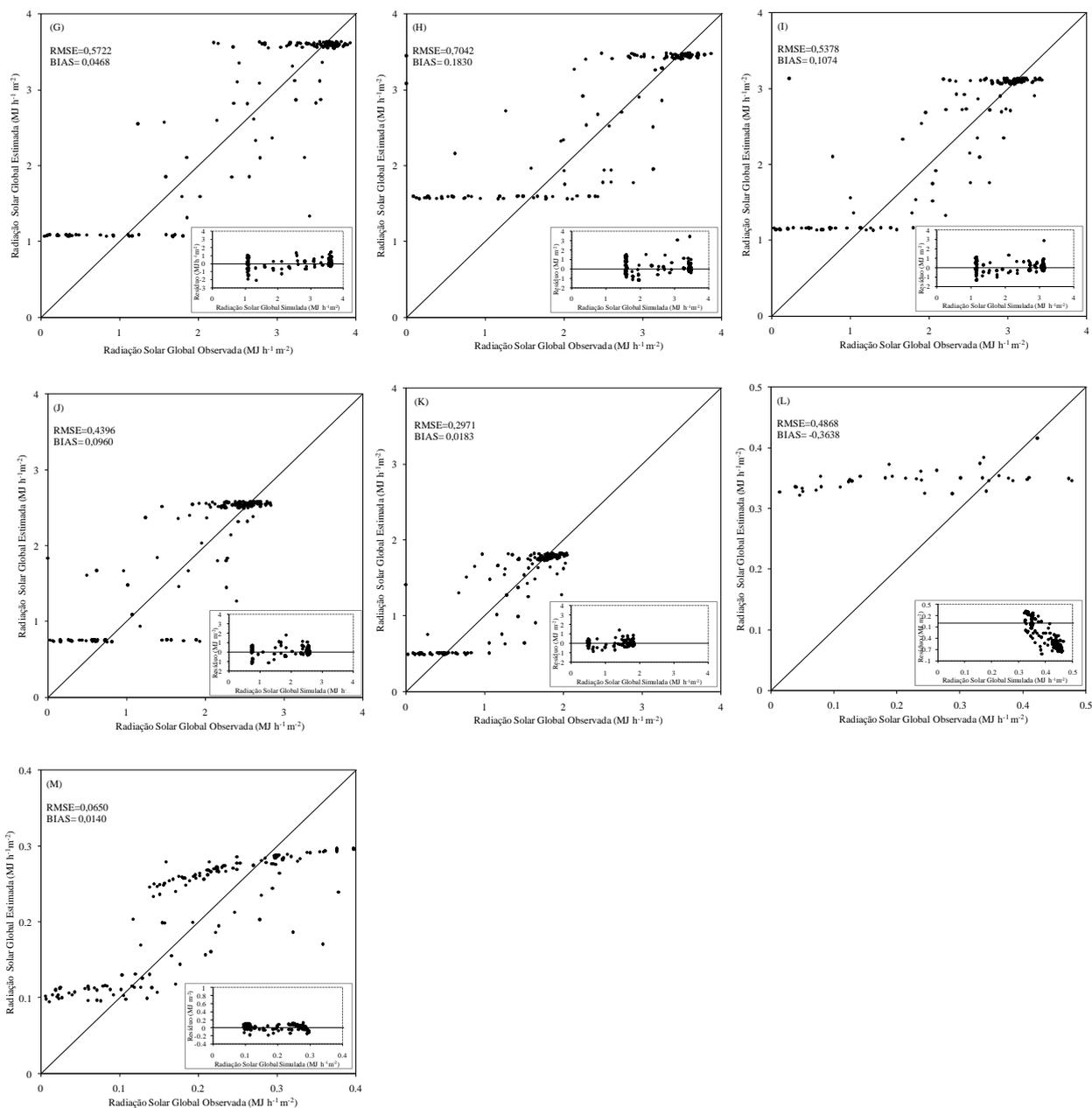
**Apêndice CX** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de novembro em Santa Maria, RS. (G) das 11 às 12h (H) das 12 às 13h (I) das 13 às 14h, (J) das 14 às 15 h, (K) das 15 às 16h, (L) das 16 às 17h, (M) das 17 às 18h.



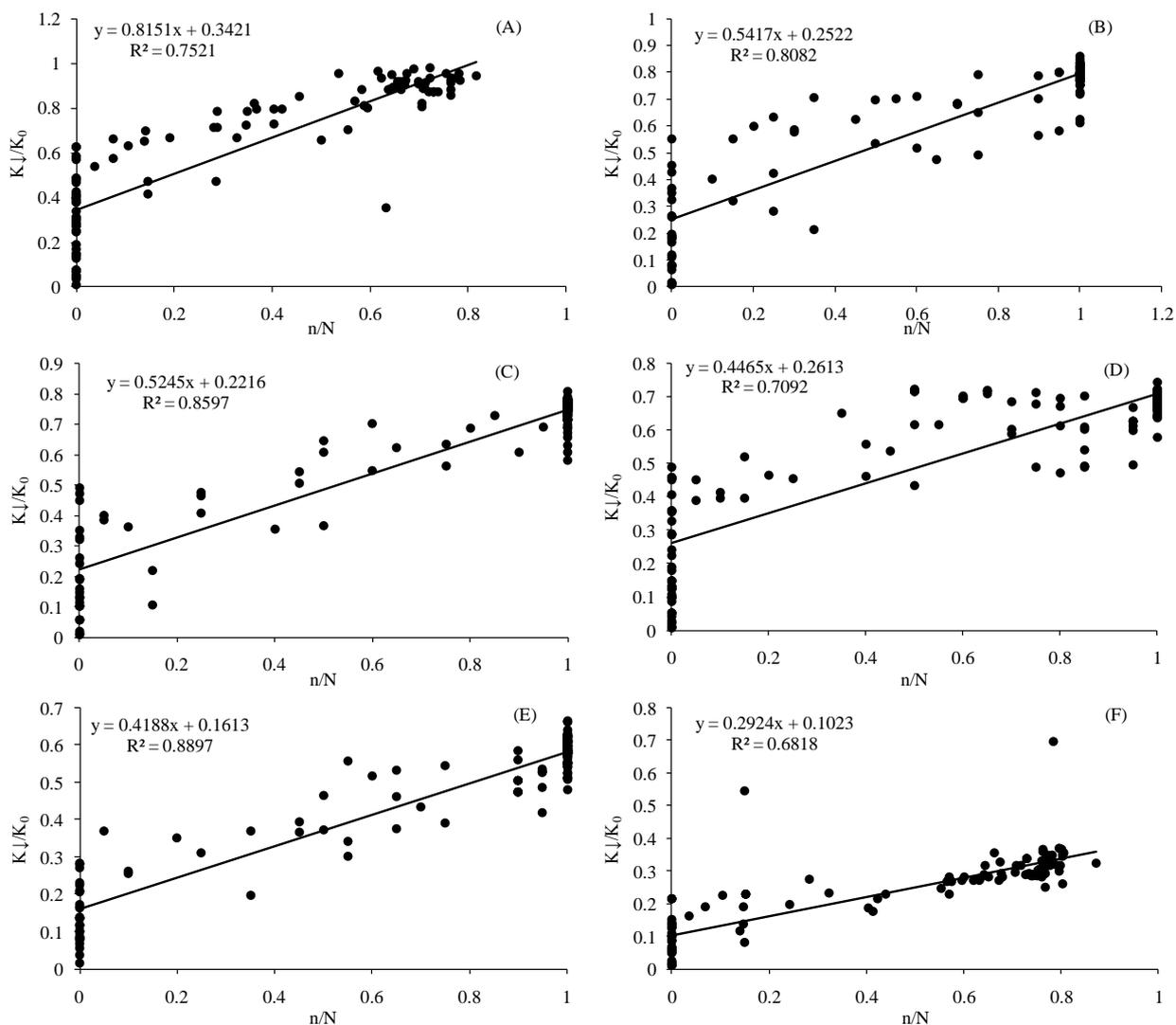
**Apêndice CY** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de novembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 6h, (B) das 6 às 7 h, (C) das 7 às 8h, (D) das 8 às 9h, (E) das 9 às 10h, (F) das 10 às 11h.



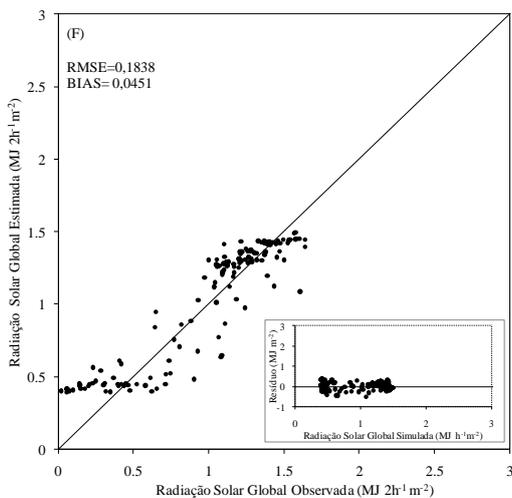
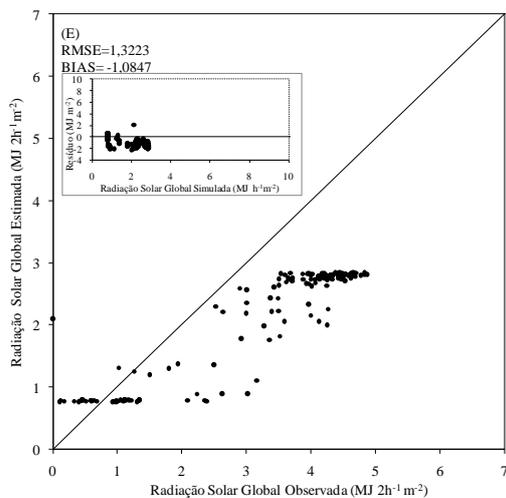
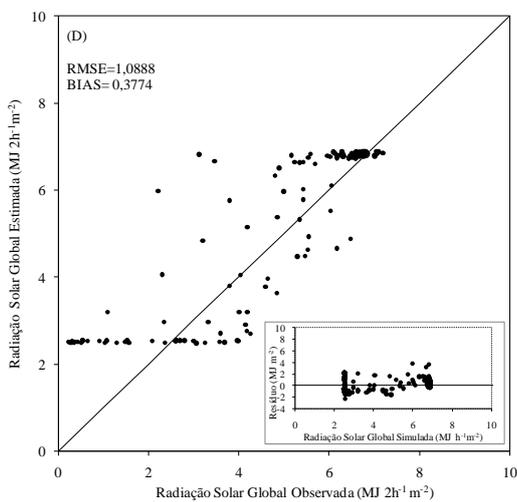
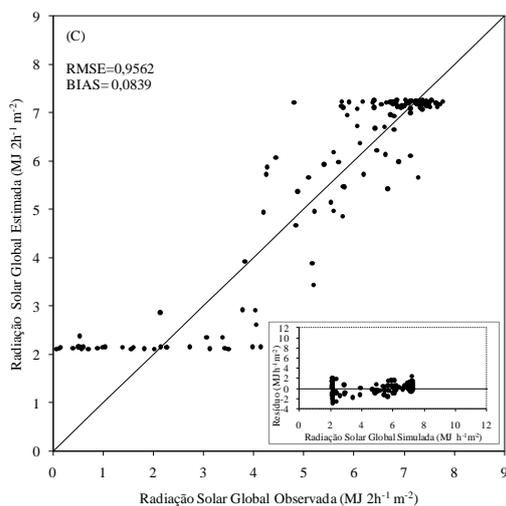
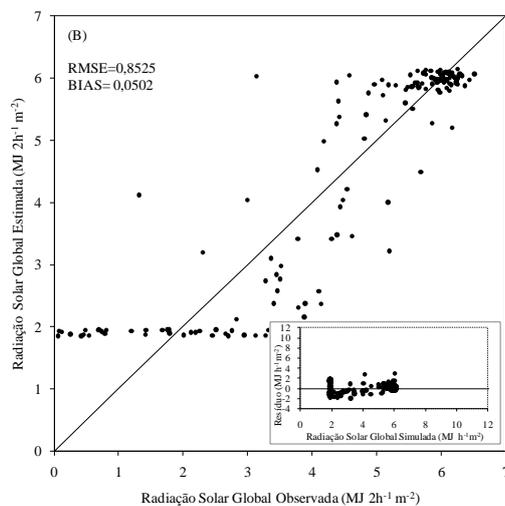
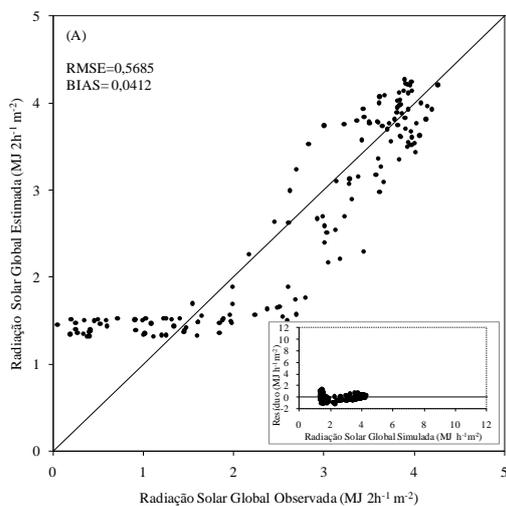
**Apêndice CZ** – Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de novembro em Santa Maria, RS. (G) das 11 às 12h (H) das 12 às 13h (I) das 13 às 14h, (J) das 14 às 15 h, (K) das 15 às 16h, (L) das 16 às 17h, (M) das 17 às 18h.



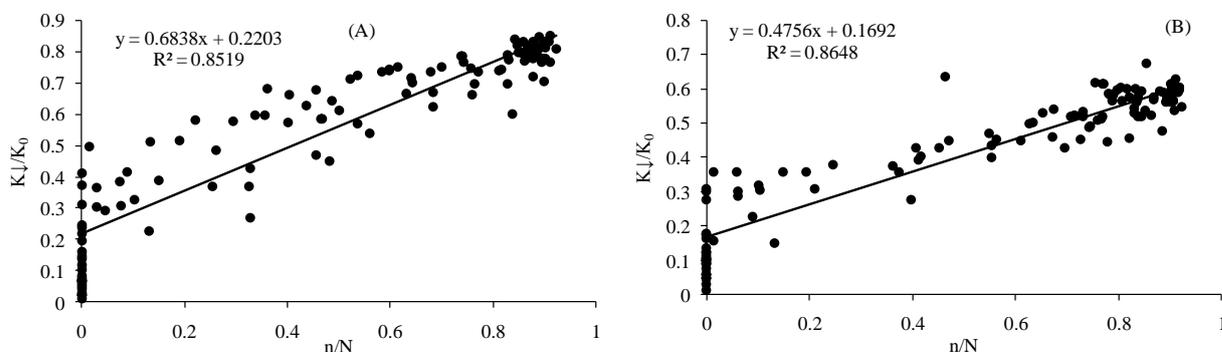
**Apêndice DA** - Equações da estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de novembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



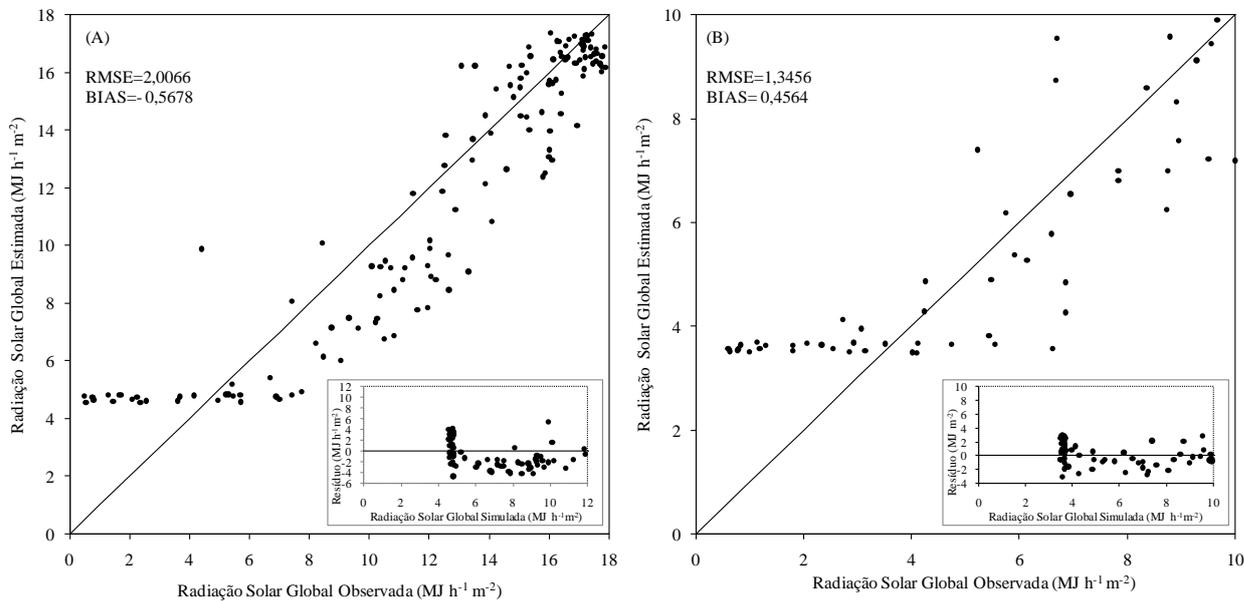
**Apêndice DB** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de novembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



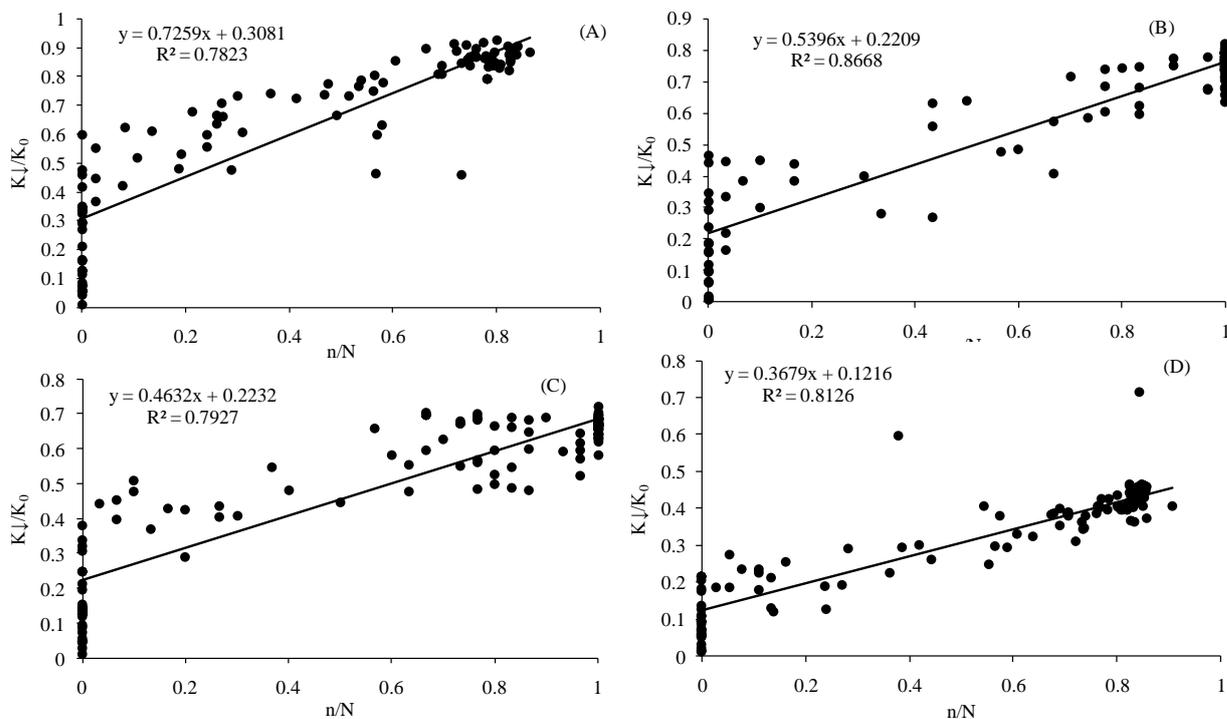
**Apêndice DC** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã e da tarde no mês de novembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



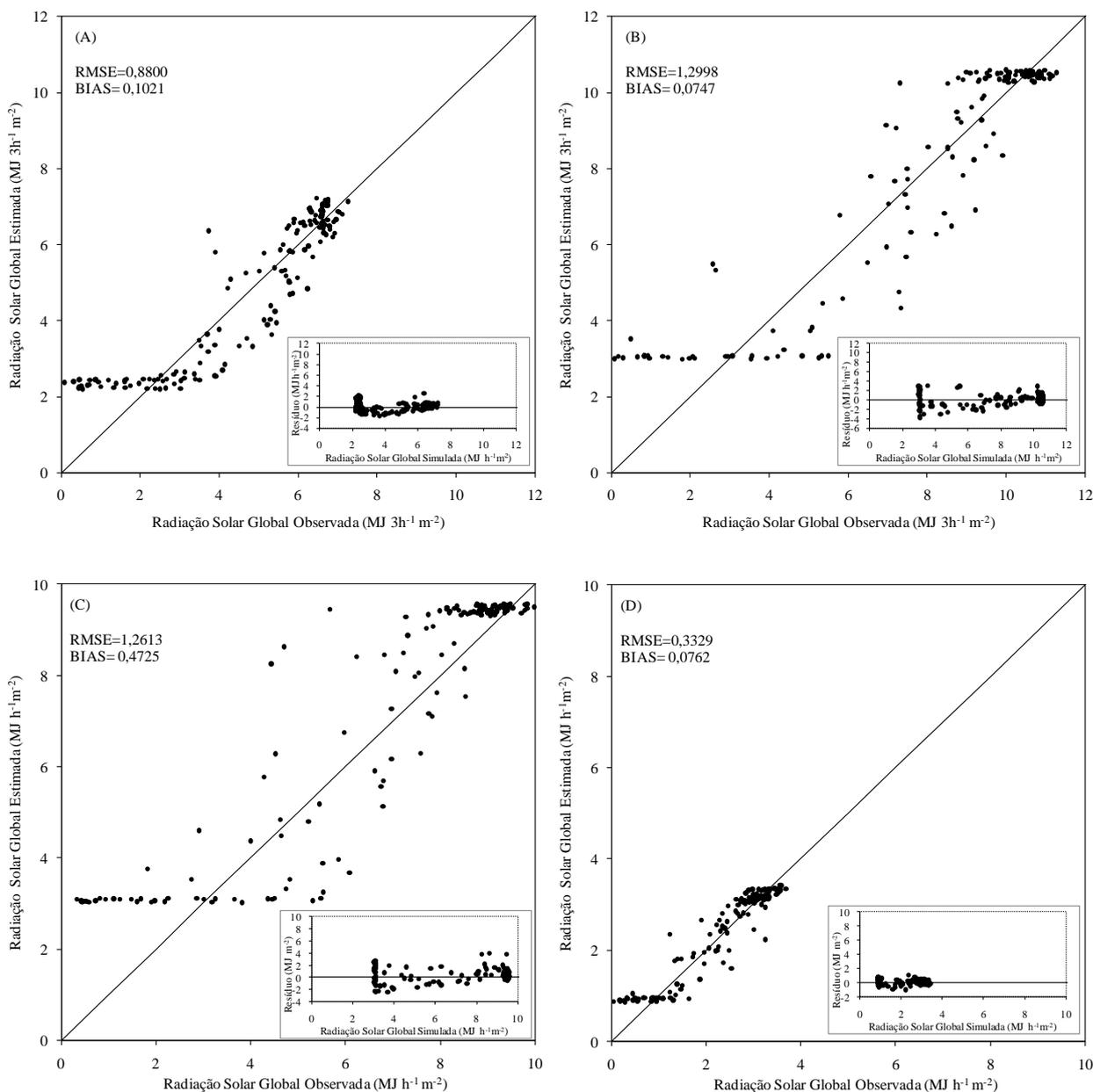
**Apêndice DD** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global global no período do dia, manhã e tarde no mês de novembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



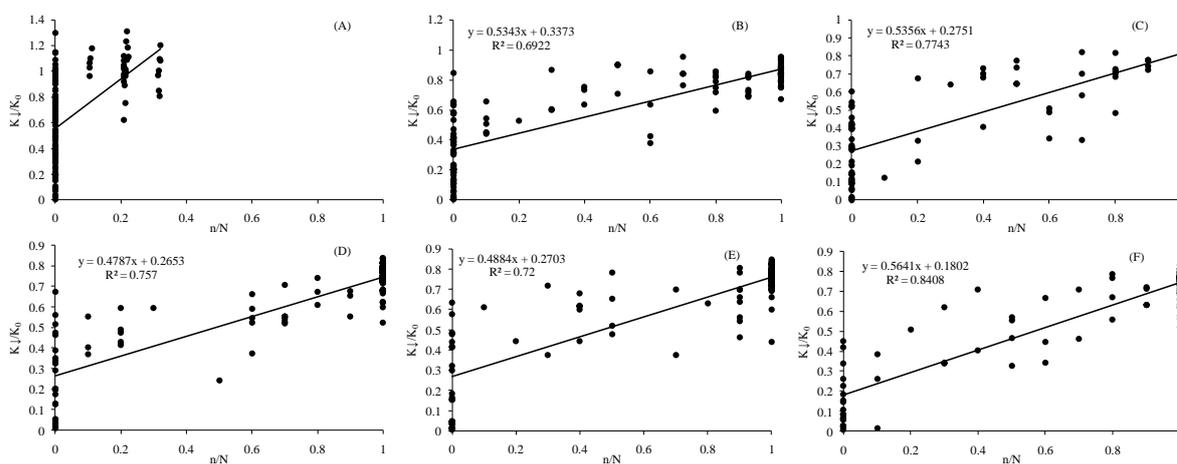
**Apêndice DE** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã1 e manhã2 e da tarde1 e tarde2 no mês de novembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



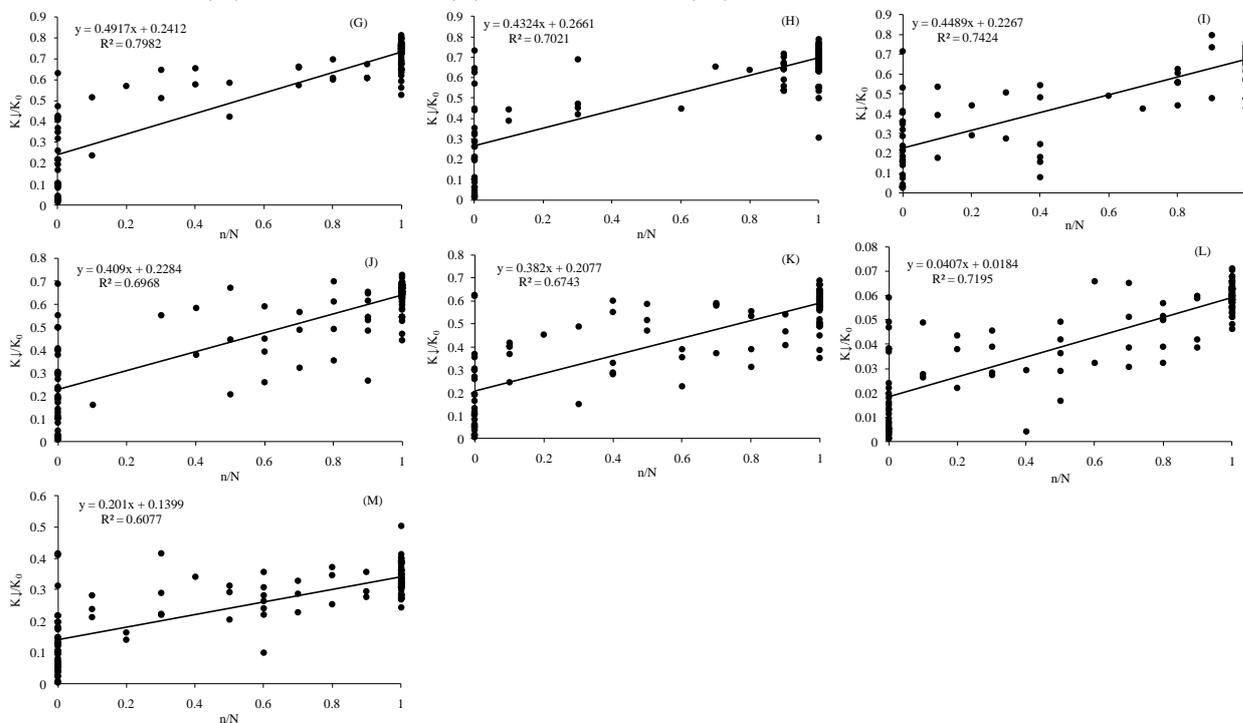
**Apêndice DF-** Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global global no período do dia da manhã1, manhã2, da tarde1 e tarde2 no mês de novembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



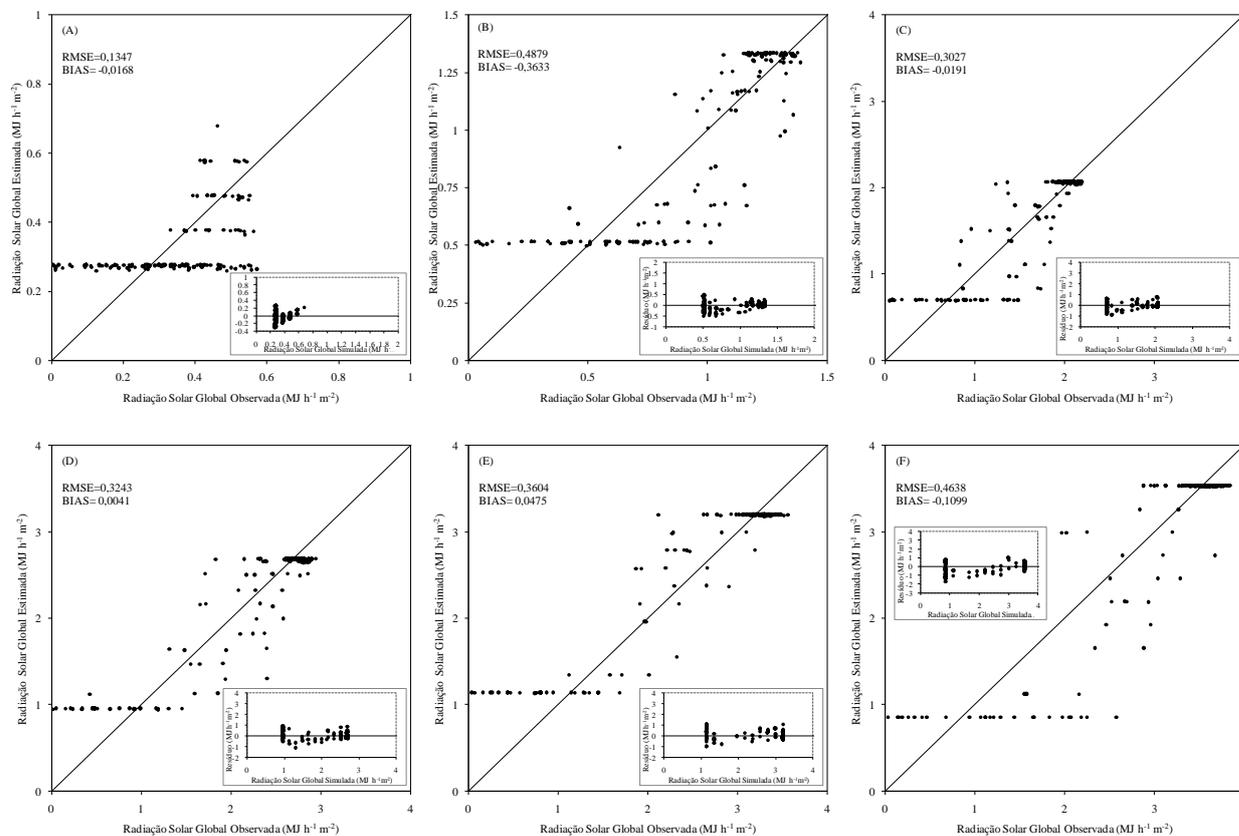
**Apêndice DG** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de dezembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 6h, (B) das 6 às 7 h, (C) das 7 às 8h, (D) das 8 às 9h, (E) das 9 às 10h, (F) das 10 às 11h.



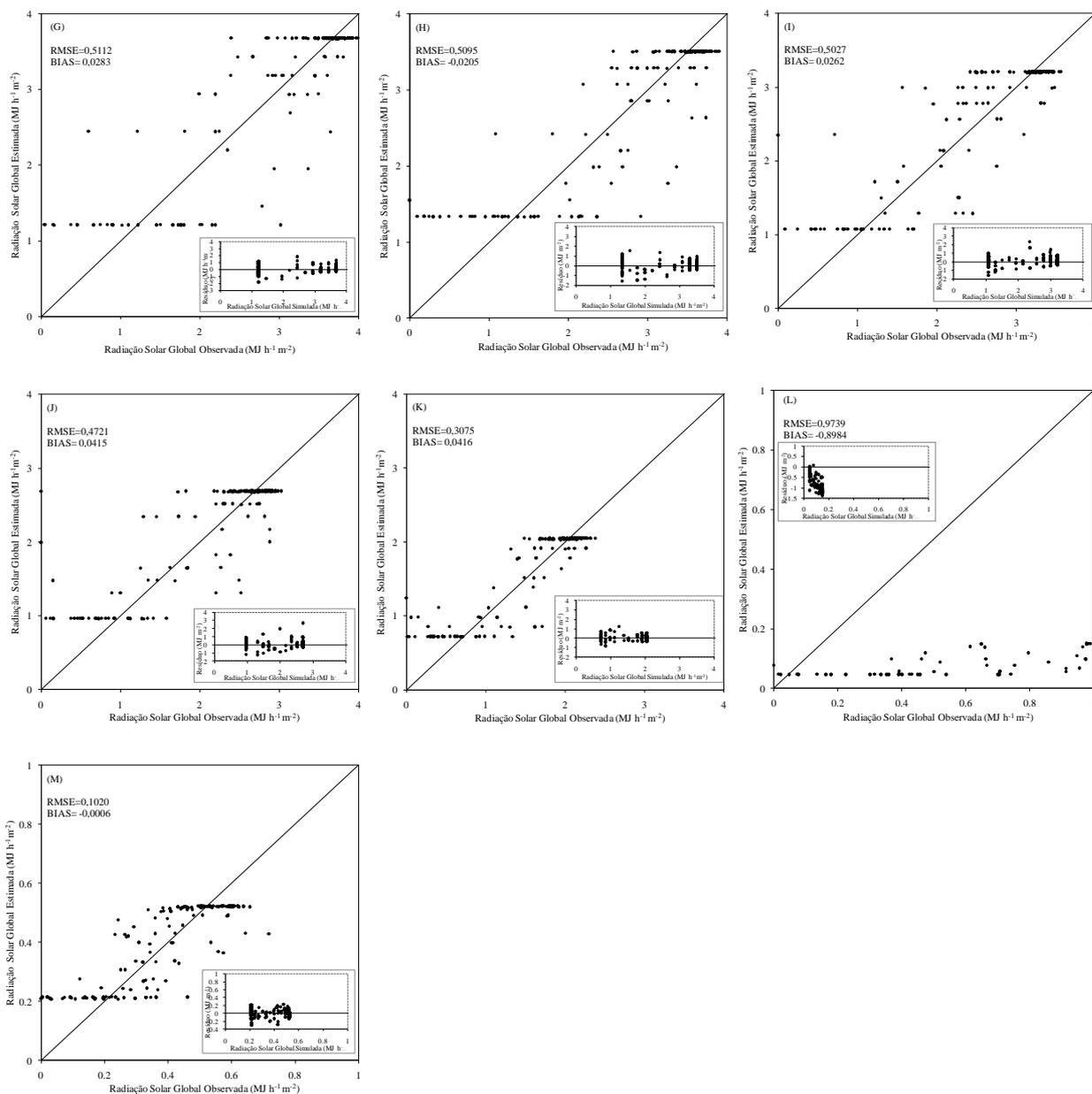
**Apêndice DH** - Equações da estimativa da radiação solar global horária no mês de dezembro em Santa Maria, RS. (G) das 11 às 12h, (H) das 12 às 13h, (I) das 13 às 14h, (J) das 14 às 15 h, (K) das 15 às 16h, (L) das 16 às 17h, (M) das 17 às 18h.



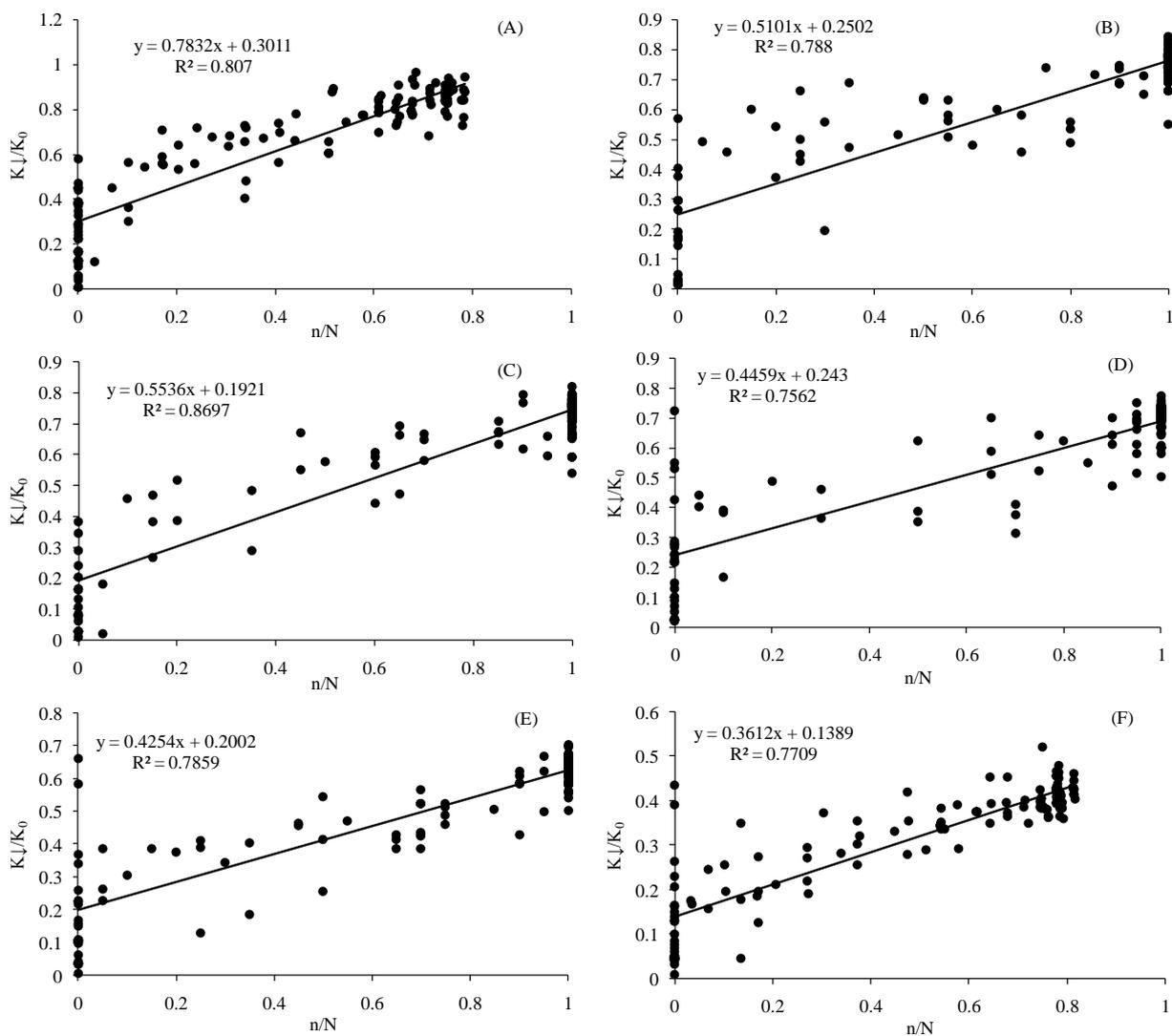
**Apêndice DI - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de dezembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 6, (B) das 6 às 7 h, (C) das 7 às 8h, (D) das 8 às 9h, (E) das 9 às 10h, (F) das 10 às 11h.**



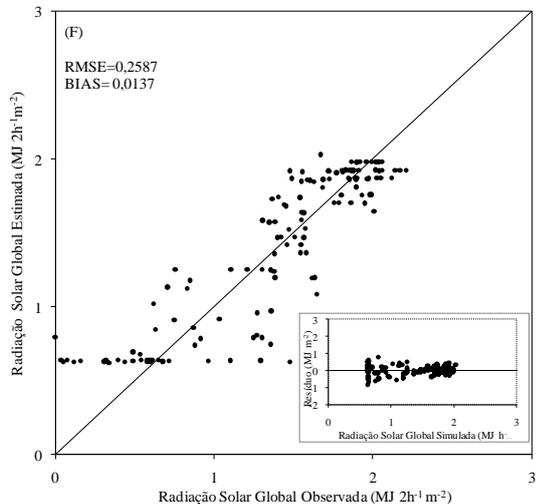
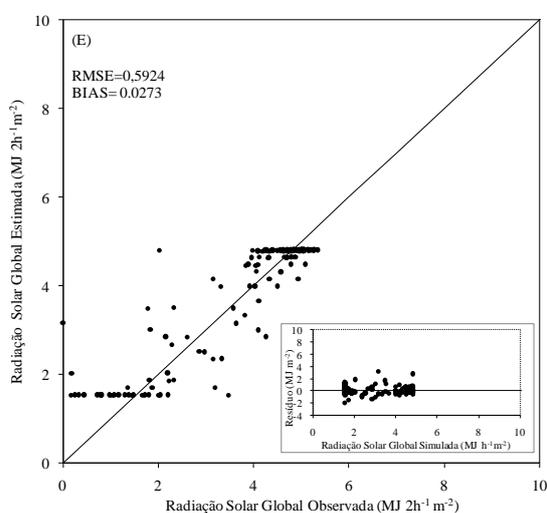
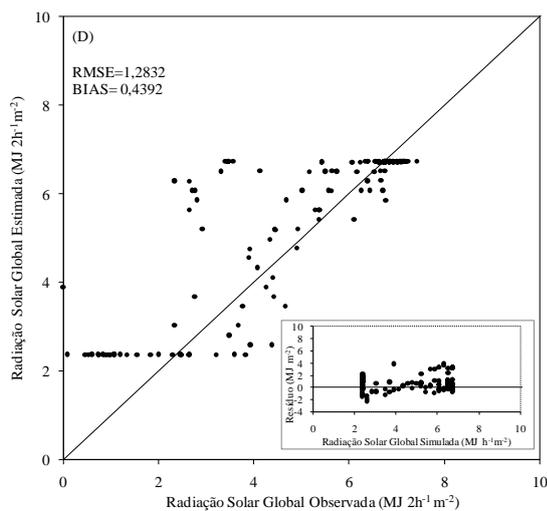
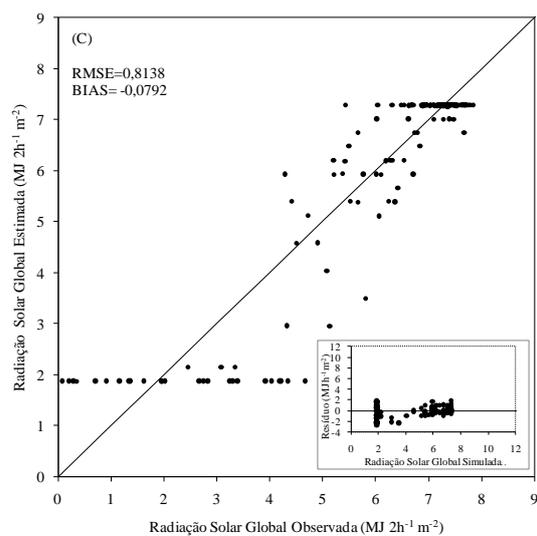
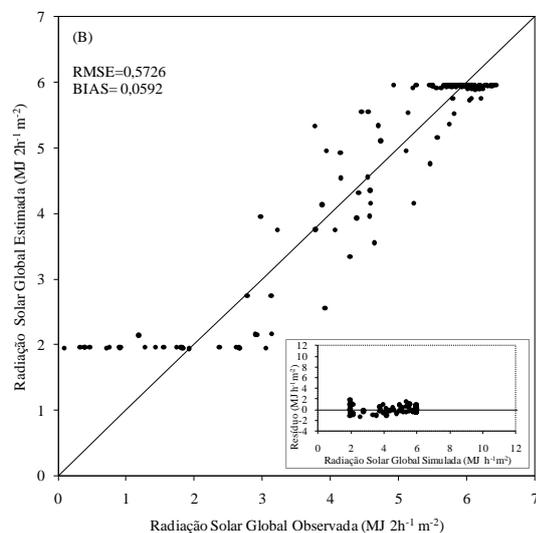
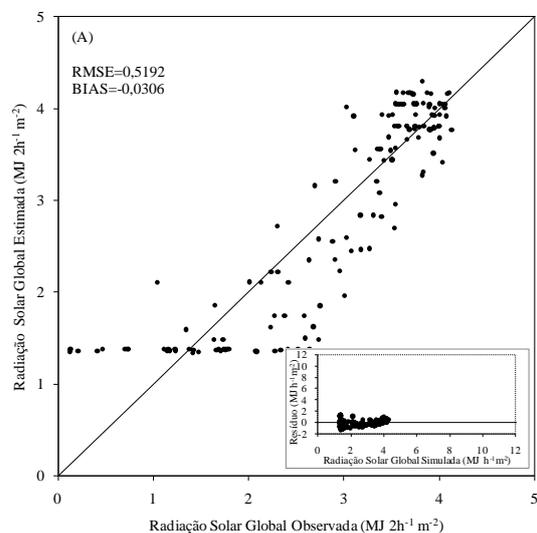
**Apêndice DJ** – Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global horária no mês de dezembro em Santa Maria, RS. (G) das 11 às 12h, (H) das 12 às 13h, (I) das 13 às 14h, (J) das 14 às 15 h, (K) das 15 às 16h, (L) das 16 às 17h, (M) das 17 as 18h.



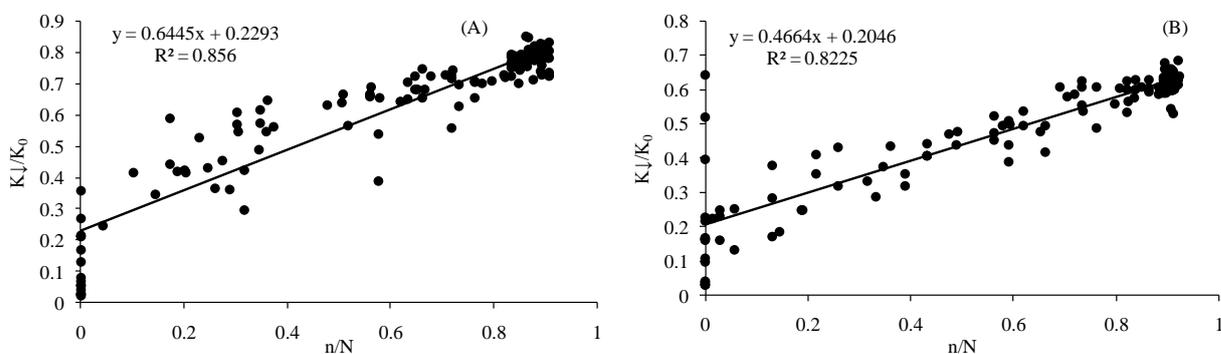
**Apêndice DK** - Equações da estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de dezembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



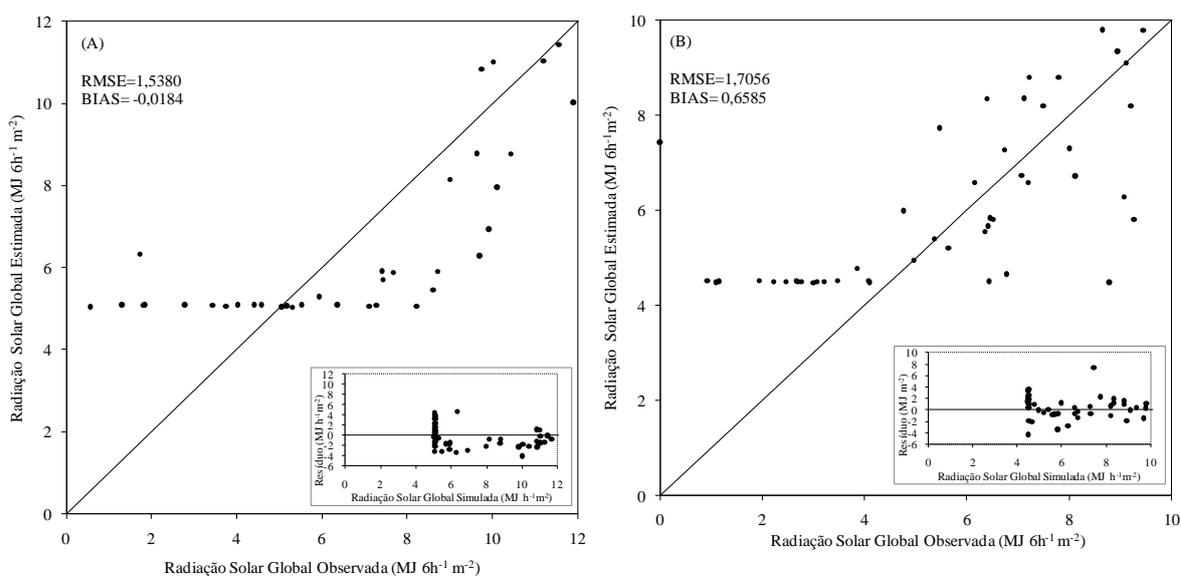
**Apêndice DL** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global de 2 em 2 horas no mês de dezembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 8h, (B) das 8 às 10 h, (C) das 10 às 12h, (D) das 12 às 14h, (E) das 14 às 16h, (F) das 16 ao pôr do sol.



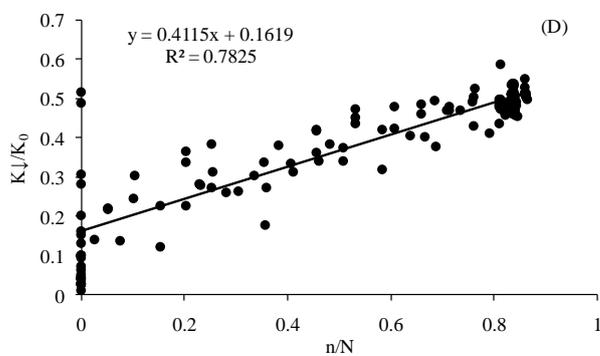
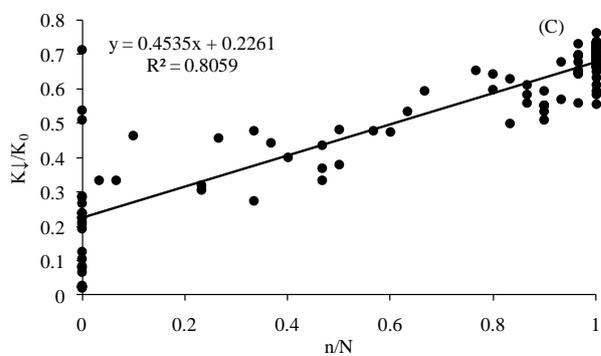
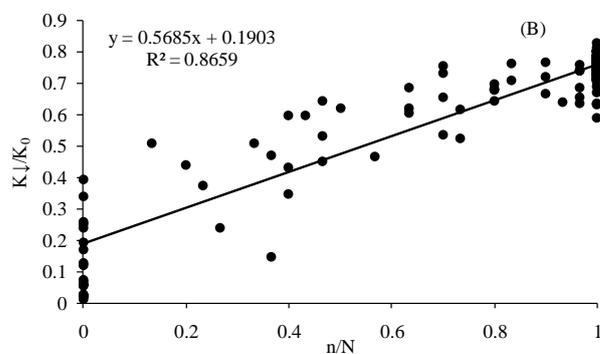
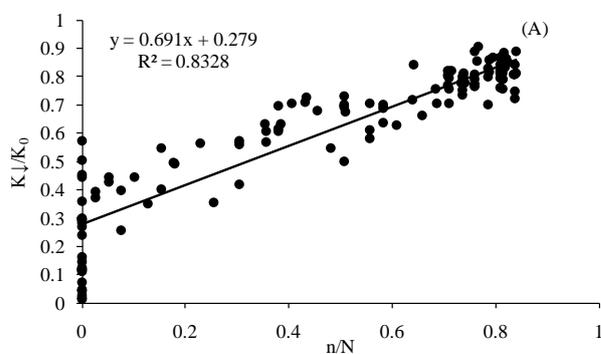
**Apêndice DM** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã e da tarde no mês de dezembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



**Apêndice DN** - Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global global no período do dia, manhã e tarde no mês de dezembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 12h, (B) das 12 ao pôr do sol.



**Apêndice DO** - Equações da estimativa da radiação solar global no período do dia da manhã1 e manhã2 e da tarde1 e tarde2 no mês de dezembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.



**Apêndice DP-** Avaliação dos modelos de estimativa da radiação solar global global no período do dia da manhã1, manhã2, da tarde1 e tarde2 no mês de dezembro em Santa Maria, RS. (A) nascer do sol às 9h, (B) das 9 às 12h, (C) das 12 às 15h e (D) das 15 ao pôr do sol.

