



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/09.20.12.56-TDI

**VARIABILIDADE TEMPORAL E ESPACIAL DA  
RADIAÇÃO SOLAR NA REGIÃO DE MANAUS – AM,  
DURANTE O EXPERIMENTO GOAMAZON 2014/15**

Alice dos Santos Macedo

Dissertação de Mestrado do  
Curso de Pós-Graduação em  
Meteorologia, orientada pelo Dr.  
Gilberto Fernando Fisch, aprovada  
em 16 de agosto de 2016.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3MFB9BE>>

INPE  
São José dos Campos  
2016

## **PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@inpe.br

## **COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):**

### **Presidente:**

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

### **Membros:**

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

### **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/09.20.12.56-TDI

**VARIABILIDADE TEMPORAL E ESPACIAL DA  
RADIAÇÃO SOLAR NA REGIÃO DE MANAUS – AM,  
DURANTE O EXPERIMENTO GOAMAZON 2014/15**

Alice dos Santos Macedo

Dissertação de Mestrado do  
Curso de Pós-Graduação em  
Meteorologia, orientada pelo Dr.  
Gilberto Fernando Fisch, aprovada  
em 16 de agosto de 2016.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3MFB9BE>>

INPE  
São José dos Campos  
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Macedo, Alice dos Santos.

M119v Variabilidade temporal e espacial da radiação solar na região de Manaus – AM, durante o experimento GOAmazon 2014/15 / Alice dos Santos Macedo. – São José dos Campos : INPE, 2016.  
xxviii + 170 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/09.20.12.56-TDI)

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.

Orientador : Dr. Gilberto Fernando Fisch.

1. Componentes global difusa e direta. 2. Cobertura de nuvens.  
3. Medidas piranômetro e piroheliometro. I.Título.

CDU 551.521.1(811.3)

---



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

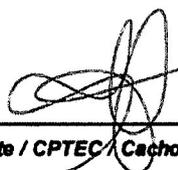
This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aluno (a): **Alice dos Santos Macedo**

**"VARIABILIDADE TEMPORAL E ESPACIAL DA RADIAÇÃO SOLAR NA REGIÃO DE MANAUS - AM,  
DURANTE O EXPERIMENTO GOAMAZON 2014/15"**

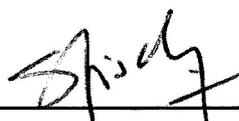
Aprovado (a) pela Banca Examinadora  
em cumprimento ao requisito exigido para  
obtenção do Título de **Mestre** em  
**Meteorologia**

Dra. **Simone Marilene Sievert da Costa  
Coelho**



\_\_\_\_\_  
**Presidente / CPTEC / Cachoeira Paulista - SP**

Dr. **Gilberto Fernando Fisch**



\_\_\_\_\_  
**Orientador(a) / IAE/DCTA / SJCampos - SP**

Dr. **Antonio Ocimar Manzi**



\_\_\_\_\_  
**Membro da Banca / CPTEC / Cachoeira Paulista - SP**

Dr. **Paulo Cesar Sentelhas**



\_\_\_\_\_  
**Convidado(a) / ESALQ - USP / Piracicaba - SP**

**Este trabalho foi aprovado por:**

**maioria simples**

**unanimidade**

**São José dos Campos, 16 de agosto de 2016**



*A meus pais, irmãos e esposo.*



## **AGRADECIMENTOS**

Eu agradeço a meus pais Milton e Nórís, a meus amados irmãos Fabiana e Milton por me darem suporte sempre, a meus primos Gustavo e Wendel e a meu amado sobrinho Vicente por encher minha vida de alegria. Agradeço a meu esposo Paulo, por me fazer feliz, dividir comigo a vida e me apoiar em todas as horas.

Agradeço ao grupo do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN) do Centro de Ciência do Sistema Terrestre/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CCST/INPE) e ao Dr. Fernando Ramos Martins, que me orientou diretamente na minha primeira experiência profissional, após graduada, e com quem muito aprendi. Agradeço ao meu orientador, Dr. Gilberto Fisch, por ter me direcionado até à conclusão desta etapa, tão desejada por mim. À Dra. Rosa Santos, Dr. Rodrigo Souza e Bruno Takeshi, pelo apoio durante a visita a Manaus, bem como a concessão dos dados da UEA (Universidade do Estado do Amazonas).

Aos amigos de caminhada e especialmente aos que estive mais próxima nesta etapa: Andressa, Juliana, Rosemary, Sílvia e Daniel.

Ao INPE e ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) pela oportunidade de estudo. Ao CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa) pela bolsa de estudo.



## RESUMO

Neste trabalho realizou-se um estudo da variabilidade temporal (anos de 2014 e 2015) e espacial (somente no ano de 2014) da irradiância solar na região de Manaus-AM, através de dados observacionais do projeto GOAmazon 2014/15. Este foi um trabalho precursor em termos de uso de série de dados tão longa e completa. Como forma complementar ao uso das informações de radiação solar à superfície, foi realizada a análise da cobertura de nuvens, chuva e aerossóis e suas interrelações com a irradiância solar. Os resultados da variabilidade temporal mostraram que o ano de 2015 foi mais seco comparado ao ano de 2014, justificado pela condição de *El Niño* (EN). Os valores médios mensais da irradiância solar global, difusa e direta foram em torno de 450, 200(44% da global) e 250 (56% da global)  $Wm^{-2}$ , para o período seco, e de 380, 230 (61% da global), 150(39% da global)  $Wm^{-2}$  para o período chuvoso, respectivamente. Dos valores integrados diários médios das irradiâncias solar global, difusa e direta, obteve-se  $16\pm 4,6$ ,  $10\pm 1,8$  e  $6\pm 4,5$   $MJm^{-2}dia^{-1}$  durante a estação chuvosa,  $21\pm 2,4$ ,  $8\pm 1,6$  e  $13\pm 3,5$   $MJm^{-2}dia^{-1}$  durante a estação seca, respectivamente. A cobertura de nuvens média, no período seco de 2015, foi sutilmente menor (aproximadamente 5%) que no mesmo período de 2014. Observou-se que os meses de valor de Kt mais elevados foram observados no período seco, com valores em torno de 0,5, reduzindo para 0,4 para os meses considerados chuvosos. De modo geral, os valores de irradiância solar global e direta foram maiores em 2015, de até  $1,5$   $MJm^{-2}dia^{-1}$  e para a difusa menores em até  $1$   $MJm^{-2}dia^{-1}$ , para valores integrados diários. Com relação as análises da variabilidade espacial, foi observado que os menores valores médios da irradiância solar ocorreram na área urbana o que é justificado, em parte pela urbanização que altera os fluxos envolvidos, diminuindo a irradiância solar à superfície.

Palavras-chave: Componentes Global Difusa e Direta. Cobertura de Nuvens. Medidas Piranômetro e Piroheliometro.



## TEMPORAL AND SPATIAL VARIABILITY OF SOLAR RADIATION IN MANAUS REGION DURING GOAMAZON EXPERIMENT 2014/15

### ABSTRACT

In this work was made a study of temporal (years of 2014 e 2015) and spatial (only year of 2014) variability of solar irradiance around Manaus city region, through observational data. As complementarily analysis was made with the study of cloud cover, rain and aerosols and their interrelations whit the solar irradiance. The work was made inside the GOAmazon project 2014/2015. The results of temporal variability showed that the year of 2015 was drier in comparison with 2014, justified by the El Niño (EN) conditions. The average values of global, diffuse and direct solar irradiance were the order of 450, 200 (44% of global) and 250(56% of global)  $Wm^{-2}$ , for the dry season. For the rainy season, the average values of global, diffuse and direct components were 380, 230 (61% da global) and 150(39% of global)  $Wm^{-2}$ , respectively. The integrated average daily values of global, diffuse and direct solar irradiance, was obtained  $21\pm 2,4$ ,  $8\pm 1,6$  and  $13\pm 3,5$   $MJ^{-2}day^{-1}$  in the dry season and  $16\pm 4,6$ ,  $10\pm 1,8$  e  $6\pm 4,5$   $MJ^{-2}day^{-1}$  in the rainy season, respectively. The average of cloud cover, in the dry season of 2015, was subtly smaller (about 5%) than the same period of 2014. It was observed that the months of higher Kt value were of the dry period, with values around 0.5, reducing to 0.4 for rainy months. In the general, the values of global and direct solar irradiance were higher in 2015, an order of  $1.5$   $MJm^{-2}day^{-1}$  and the diffuse lower even in  $1$   $MJ^{-2}day^{-1}$  for daily integrated values. Relative of spatial variability, was observed that the lower average values of solar irradiance occurred in urban area is justified in part by urbanization that change the flows involved, reducing solar irradiance at the surface.

Keywords: Global Diffuse and Direct components. Cloud Cover. Pyranometer and Pyrheliometer measurements.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Espectro Eletromagnético.....	5
Figura 2.2 - Representação gráfica dos processos radiativos que ocorrem na atmosfera.....	6
Figura 2.3 - Espectros da irradiância solar no topo da atmosfera e incidente na superfície terrestre, ao nível do mar, com o espectro de emissão de um corpo negro a 6000 K.....	7
Figura 3.1 - Sítios de estudo da variabilidade da irradiância solar.....	21
Figura 3.2 - Sítio T3: Instrumentos representativos das medições de cobertura de nuvens e irradiância solar no sítio.....	22
Figura 3.3 - Plataforma Sky Radiation (SKYRAD).....	24
Figura 3.4- Total Sky Imager (TSI).....	26
Figura 3.5- Laser disdrômetro parsível2.....	27
Figura 3.6-Piranômetro S-LIB-M003.....	32
Figura 3.7- Pluviômetro RG13.....	33
Figura 4.1- Ciclo anual da precipitação diária (mm/dia) no aeroporto Eduardo Gomes em: (a) 2014 e (b) 2015.....	40
Figura 4.2- Ciclo anual da precipitação diária (mm/dia) na Base Aérea de Ponta Pelada em: (a) 2014 e (b) 2015.....	40
Figura 4.3 - Ciclo anual da precipitação diária (mm/dia) em T3: (a) 2014 e (b) 2015.....	41
Figura 4.4- Ciclo sazonal da fração de cobertura de nuvem de Abril de 2014 a Novembro de 2015 no sítio T3.....	42
Figura 4.5- Ciclo sazonal do valor integral diário médio da irradiância solar no topo da atmosfera, global, direta e difusa, de Janeiro de 2014 a Novembro de 2015.....	44
Figura 4.6- Ciclo anual da integral diária (valor médio e desvio padrão associado) da irradiância solar global de Janeiro de 2014 a Novembro de 2015.....	45
Figura 4.7- Ciclo anual da integral diária (valor médio e desvio padrão associado) da irradiância solar difusa de Janeiro de 2014 a Novembro de 2015.....	47
Figura 4.8- Ciclo anual da integral diária (valor médio e desvio padrão associado) da irradiância solar direta de Janeiro de 2014 a Novembro de 2015.....	48
Figura 4.9 - Regressão linear da radiação solar: a) Direta em função da Difusa, b) Global em função da Direta e c) Global em função da Difusa.....	49
Figura 4.10 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Fevereiro de: (a) 2014 e (b) 2015.....	51

Figura 4.11- Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Setembro de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	51
Figura 4.12 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Fevereiro de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	54
Figura 4.13 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Setembro de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	55
Figura 4.14 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Fevereiro de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	57
Figura 4.15 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Setembro de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	57
Figura 4.16- Ciclo sazonal do coeficiente Kt médio mensal. ....	60
Figura 4.17- Número de focos de queimadas no estado do Amazonas do mês de setembro nos anos de 2014 e 2015. ....	62
Figura 4.18- Série histórica do número total de focos de queimadas detectados no estado do Amazonas. ....	64
Figura 4.19 - Série temporal dos valores médios AOD entre Janeiro de 2014 a Novembro de 2015. ....	65
Figura 4.20 - Valor de Kt dos dias 16, 17 e 18 de Outubro de 2015, entre 10 e 15 horas. ....	66
Figura 4.21- AOD do mês de Outubro de 2015. ....	67
Figura 4.22 - Precipitação diária de mês de Outubro de 2015. ....	67
Figura 4.23 - Ciclo diário da irradiância solar TOA, global, direta e difusa nos dias: (a)16, (b) 17 e (c) 18 de Outubro de 2015. ....	68
Figura 4.24 - Precipitação diária nos sítios T3, UEA e EMBRAPA durante o IOP1. ....	70
Figura 4.25 - Precipitação diária nos sítios T3, UEA e EMBRAPA durante o IOP2. ....	70
Figura 4.26 - Ciclo diário da irradiância solar global média durante: a) IOP1 e b) IOP2. ....	76
Figura 4.27 – Variabilidade do ciclo diário da irradiância solar global no sítio T3: a) IOP1 e b) IOP2. ....	79
Figura 4.28 – Variabilidade do ciclo diário da irradiância solar global no sítio Embrapa: a) IOP1 e b) IOP2. ....	79
Figura 4.29 – Variabilidade do ciclo diário da irradiância solar global no sítio UEA: a) IOP1 e b) IOP2. ....	80
Figura 4.30 – AOD 500nm no T3 e EMBRAPA, no IOP1. ....	82
Figura 4.31– AOD 500nm no T3 e EMBRAPA, no IOP2. ....	83
Figura A.1 - Valores das diferenças (ano de 2014-2015) da fração de cobertura de nuvens média nos meses de (a) Março, (b)Abril. ....	97

Figura A.2 - Valores das diferenças (ano de 2014-2015) da fração de cobertura de nuvens média nos meses de (a) Maio, (b) Junho, (c) Julho, (d) Agosto. ....	98
Figura A.3 - Valores das diferenças (ano de 2014-2015) da fração de cobertura de nuvens média nos meses de (a) Setembro (b) Outubro (c) Novembro. ....	99
Figura A.4 - Diferenças da fração de cobertura de nuvens média, fina e opaca, do ano de 2014 subtraída de 2015, nos meses de (a) Março, (b) Abril. ....	100
Figura A.5 - Diferenças da fração de cobertura de nuvens média, fina e opaca, do ano de 2014 subtraída de 2015, nos meses de (a) Maio (b) Junho, (c) Julho, (d) Agosto. ....	100
Figura A.6 - Diferenças da fração de cobertura de nuvens média, fina e opaca, do ano de 2014 subtraída de 2015, nos meses de (a) Setembro, (b) Outubro, (c) Novembro. ....	101
Figura B.1 – Ciclo diário da variabilidade temporal da irradiância solar global média, nos meses de (a) Janeiro, (b) Fevereiro, (c) Março e (d) Abril. ....	103
Figura B.2 – Ciclo diário da variabilidade temporal da irradiância solar global média, nos meses de (a) Maio, (b) Junho, (c) Julho e (d) Agosto. ....	104
Figura B.3 – Ciclo diário da variabilidade temporal da irradiância solar global média, nos meses de (a) Setembro, (b) Outubro e (c) Novembro. ....	105
Figura B.4 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Janeiro de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	106
Figura B.5 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Março de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	106
Figura B.6 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Abril de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	107
Figura B.7 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Maio de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	107
Figura B.8 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Junho de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	108
Figura B.9 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Julho de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	108
Figura B.10 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Agosto de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	109
Figura B.11 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Outubro de 2014 e 2015. ....	109
Figura B.12 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Novembro de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	110
Figura B.13 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Dezembro de 2014. ....	110
Figura C.1 – Ciclo diário da variabilidade temporal da irradiância solar difusa média, nos meses de (a) Janeiro, (b) Fevereiro, (c) Março e (d) Abril. ....	122

Figura C.2 – Ciclo diário da variabilidade temporal da irradiância solar difusa média, nos meses de (a) Maio, (b) Junho, (c) Julho e (d) Agosto. ....	123
Figura C.3 – Ciclo diário da variabilidade temporal da irradiância solar difusa média, nos meses de (a) Setembro, (b) Outubro e (c) Novembro. ....	124
Figura C.4 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Janeiro de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	124
Figura C.5 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Março de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	125
Figura C.6 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Abril de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	125
Figura C.7 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Maio de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	126
Figura C.8 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Junho de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	126
Figura C.9 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Julho de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	127
Figura C.10 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Agosto de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	127
Figura C.11 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Outubro de: (a) 2014 e (b)2015. ....	128
Figura C.12 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Novembro de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	128
Figura C.13 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Dezembro de 2014. ....	129
Figura D.1 - Ciclo diário da variabilidade temporal da irradiância solar direta média, nos meses de (a) Janeiro, (b) Fevereiro, (c) Março e (d) Abril. ....	140
Figura D.2 - Ciclo diário da variabilidade temporal da irradiância solar direta média, nos meses de (a) Maio, (b) Julho, (c) julho e (d) Agosto. ....	141
Figura D.3 - Ciclo diário da variabilidade temporal da irradiância solar direta média, nos meses de (a) Setembro, (b) Outubro e (c) Novembro. ....	141
Figura D.4 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Janeiro de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	142
Figura D.5 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Março de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	142
Figura D.6 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Abril de: (a) 2014 e (b)2015. ....	143
Figura D.7 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Maio de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	143
Figura D.8 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Junho de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	144

Figura D.9 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Julho de: (a) 2014 e (b) 2015.....	144
Figura D.10 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Agosto de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	145
Figura D.D.11 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Outubro de: (a) 2014 e (b) 2015.....	145
Figura D.12 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Novembro de: (a) 2014 e (b) 2015. ....	146
Figura D.13 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Dezembro de 2014.....	146
Figura E.1 - Diferença do valor de Kt nos meses de (a) Janeiro, (b) Fevereiro, (c) Março, (d) Abril.....	158
Figura E.2 - Diferença do valor de Kt nos meses de (a) Maio, (b) Junho, (c) Julho, (d) Agosto. ....	159
Figura E.3 - Diferença do valor de Kt médio de 2014 subtraído de 2015, nos meses de (a) Setembro, (b) Outubro, (c) Novembro. ....	160
Figura F.1 - Manaus encoberta por uma densa nuvem de fumaça em 1 de Outubro. ....	162
Figura F.2 - Embarcação que ficou presa a um banco de areia por causa da baixa visibilidade no rio Solimões, provocada pela fumaça.....	163
Figura F.3 - Comparação: a primeira foto foi tirada no dia 7 de Agosto e a segunda em 19 de Outubro.....	164
Figura G.1 - Ciclo diário médio de Fevereiro de 2014 no sítio T3. ....	165
Figura H.1 - Ciclo diário médio da irradiância global, em Março de 2014, com as metodologias testadas. ....	169
Figura H.2 - Ciclo diário médio da irradiância direta, em Março de 2014, com as metodologias testadas. ....	170
Figura H.3 - Ciclo diário médio da irradiância difusa, em Março de 2014, com as metodologias testadas. ....	170



## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Informações das medições utilizadas do sítio T3 .....	23
Tabela 3.2 - Informações das medições utilizadas do sítio EMBRAPA.....	30
Tabela 3.3 - Informações das medições utilizadas do sítio UEA.....	32
Tabela 3.4 - Distância entre os sítios em linha reta.....	34
Tabela 4.1 - Valores médios mensais da irradiância solar global e a significância estatística dos valores médios integrados. S (Significante), N (Não significativa). .....	53
Tabela 4.2 - Valores médios mensais da irradiância solar difusa e a significância estatística dos valores médios integrados. S (Significante), N (Não significativa). .....	55
Tabela 4.3- Valores médios mensais da irradiância solar direta e a significância estatística dos valores médios integrados. S (Significante), N (Não significativa). .....	59
Tabela 4.4 - Número de focos de queimadas em 2014 e 2015.....	63
Tabela 4.5- Valores integrados diários da solar global direta e difusa nos dias 16, 17 e 18 de Outubro de 2015.....	68
Tabela 4.6 – Média e desvio padrão da média de cobertura de nuvens no IOP1 e IOP2, dos sítios: PP (Ponta Pelada), EG (Eduardo Gomes), T3 (sítio T3)....	72
Tabela 4.7 – Diferenças entre os valores médios de percentagem de fração de nuvens, dos sítios: PP (Ponta Pelada), EG (Eduardo Gomes), T3 (sítio T3). ..	73
Tabela 4.8 – Média e desvio padrão da irradiância solar global dos sítios: .....	76
Tabela 4.9 – Diferenças entre os valores médios da irradiância global das três localidades:T (T3), E (Embrapa), U (UEA). .....	78
Tabela 4.10 – Significância estatística da irradiância solar global nos sítios T3, EMBRAPA e UEA. S (Significante), N (Não significativa), no IOP1.....	81
Tabela 4.11 – Significância estatística da irradiância solar global nos sítios T3, EMBRAPA e UEA. S (Significante), N (Não significativa), no IOP2.....	81
Tabela B.1 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Janeiro de 2014 e 2015. ....	111
Tabela B.2– Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Março de 2014 e 2015. ....	112
Tabela B.3–Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Abril de 2014 e 2015. ....	113
Tabela B.4– Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Maio de 2014 e 2015. ....	114
Tabela B.5– Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Junho de: (a) 2014 e (b)2015.....	115
Tabela B.6– Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Julho de 2014 e 2015.....	116

Tabela B.7– Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Agosto de 2014 e 2015. ....	117
Tabela B.8– Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Outubro de: (a) 2014 e (b)2015.....	118
Tabela B.9– Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Novembro de 2014 e 2015.....	119
Tabela B.10– Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Dezembro de 2014. ....	120
Tabela C.1 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Janeiro de 2014 e 2015. ....	130
Tabela C.2 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Março de 2014 e 2015.....	131
Tabela C.3 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Abril de 2014 e 2015.....	132
Tabela C.4 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Maio de 2014 e 2015. ....	133
Tabela C.5– Médiamensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Junho de 2014 e 2015. ....	134
Tabela C.6 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Julho de 2014 e 2015. ....	135
Tabela C.7 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Agosto de 2014 e 2015.....	136
Tabela C.8 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Outubro de 2014 e 2015.....	137
Tabela C.9 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Novembro de 2014 e 2015. ....	138
Tabela C.10 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Dezembro de 2014. ....	139
Tabela D.1 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Janeiro de 2014 e 2015.....	147
Tabela D.2 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Março de 2014 e 2015. ....	148
Tabela D.3 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Abril de 2014 e 2015. ....	149
Tabela D.4 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Maio de 2014 e 2015.....	150
Tabela D.5 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Junho de 2014 e 2015.....	151
Tabela D.6 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Julho de 2014 e 2015.....	152

Tabela D.7 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Outubro de 2014 e 2015. ....	154
Tabela D.8 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Novembro de 2014 e 2015.....	155
Tabela D.9 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Dezembro de 2014.....	156
Tabela G.1 - Valores do ciclo diário dos dois métodos .....	166



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AM	Amazonas
AOD	<i>Aerosol Optical Depth</i>
CAPE	<i>Convective Available Potential Energy</i>
CCST	Centro de Ciência do Sistema Terrestre
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
EN	<i>El Niño</i>
ENOS	<i>El Niño Oscilação Sul</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IOP	<i>Intensive Operating Period</i>
IOS	Índice de Oscilação Sul
LN	<i>La Niña</i>
PAR	<i>Photosynthetically Active Radiation</i>
RGB	<i>Red Green Blue</i>
RO	Rondônia
TSI	<i>Total Sky Imager</i>
TOA	<i>Top Of Atmosphere</i>
UEA	Universidade do Estado do Amazonas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária



## LISTA DE SÍMBOLOS

$\theta_z$	Angulo zenital do sol
$\delta$	Declinação solar
$\Gamma$	Dia angular
$d_n$	Dia juliano
$\pi$	Razão entre a circunferência de qualquer círculo e seu diâmetro, assumido aqui igual a 3,14.
$E_0$	Fator de correção da excentricidade da Terra
$s_0$	Constante solar
$K_t$	Transmissividade atmosférica
$\phi$	Latitude
$\omega$	Ângulo horário
$r$	Distância Terra-Sol
$r_0$	Distância média Terra-Sol



# SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1	INTRODUÇÃO..... 1
2	REVISÃO DE LITERATURA..... 4
2.1	TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA POR RADIAÇÃO SOLAR..... 4
2.1.1	Aspectos Gerais..... 4
2.1.2	Interação entre radiação solar e atmosfera ..... 5
2.1.3	Interação da radiação solar com aerossóis ..... 8
2.1.4	Interação da radiação solar com as nuvens ..... 9
2.2	AMAZÔNIA ..... 11
2.2.1	Primeiros estudos sobre radiação solar na Amazônia..... 11
2.2.2	Aspectos climatológicos ..... 13
2.2.2.1	Variabilidade Interanual ..... 17
2.2.2.2	Variabilidade Intrasazonal ..... 18
3	DADOS E METODOLOGIA ..... 20
3.1	ÁREA DE ESTUDO E INSTRUMENTOS..... 20
3.1.1	Sítio T3..... 21
3.1.1.1	Disdrômetro ..... 27
3.1.1.2	Cimel Sunphotometer ..... 28
3.1.2	Sítio Embrapa ..... 29
3.1.3	Sítio UEA..... 31
3.1.4	Aeroporto Eduardo Gomes e Base Aérea de Ponta Pelada..... 33
3.2	METODOLOGIA: ANÁLISE DA VARIABILIDADE TEMPORAL E ESPACIAL..... 33
3.2.1	Cálculo da Transmissividade da Atmosfera (Kt)..... 34
3.3	DECOMPOSIÇÃO DA IRRADIÂNCIA SOLAR DIRETA ..... 36
3.4	TESTE DE SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA ..... 37
4	RESULTADOS..... 39
4.1	VARIABILIDADE TEMPORAL..... 39
4.1.1	Chuva e cobertura de nuvens..... 39
4.1.2	Integral diária média da irradiância solar ..... 43
4.1.3	Ciclos da irradiância solar: Variação horária..... 49
4.1.3.1	Irradiância solar global ..... 49
4.1.3.2	Irradiância solar difusa ..... 53
4.1.3.3	Irradiância solar direta ..... 56
4.2	TRANSMISSIVIDADE DA ATMOSFERA (KT) ..... 59
4.3	QUEIMADAS E AEROSSÓIS..... 61
4.4	VARIABILIDADE ESPACIAL ..... 69
4.4.1	Variabilidade espacial..... 69
4.4.2	Irradiância solar global ..... 73
4.4.3	Aerossóis ..... 81
5	CONCLUSÕES..... 85
5.1.1	Trabalhos futuros ..... 86
	REFERÊNCIAS..... 87
	APÊNDICE A..... 97
	APÊNDICE B..... 102

B.1 DIFERENÇA ENTRE OS VALORES MÉDIOS MENSAIS HORÁRIOS DA IRRADIÂNCIA SOLAR GLOBAL DE 2014 E 2015 .....	102
B.2 VALORES MÉDIOS MENSAIS HORÁRIOS E SEUS DESVIOS PADRÕES DA IRRADIÂNCIA SOLAR GLOBAL NO CICLO DIÁRIO DE 2014 E 2015.....	105
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>121</b>
C.1 DIFERENÇA ENTRE OS VALORES MÉDIOS MENSAIS HORÁRIOS DA IRRADIÂNCIA SOLAR DIFUSA DE 2014 E 2015 .....	121
C.2 VALORES MÉDIOS MENSAIS HORÁRIOS E SEUS DESVIOS PADRÕES DA IRRADIÂNCIA SOLAR DIFUSA NO CICLO DIÁRIO DE 2014 E 2015.....	124
<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>140</b>
D.1 DIFERENÇA ENTRE OS VALORES MÉDIOS MENSAIS HORÁRIOS DA IRRADIÂNCIA SOLAR DIRETA DE 2014 E 2015 .....	140
D.2 VALORES MÉDIOS MENSAIS HORÁRIOS E SEUS DESVIOS PADRÕES DA IRRADIÂNCIA SOLAR DIRETA NO CICLO DIÁRIO DE 2014 E 2015 .....	142
<b>APÊNDICE E.....</b>	<b>157</b>
E.1 DIFERENÇA ENTRE OS VALORES MÉDIOS MENSAIS HORÁRIOS DA TRANSMISSIVIDADE ATMOSFÉRICA (KT) ENTRE 2014 E 2015 .....	157
<b>APÊNDICE F.....</b>	<b>161</b>
F.1 22 DE SETEMBRO DE 2015 .....	161
F.2 29 DE SETEMBRO DE 2015 .....	161
F.3 01 DE OUTUBRO DE 2015 .....	161
F.4 2 DE OUTUBRO DE 2015 .....	162
F.5 5 DE OUTUBRO DE 2015 .....	162
F.6 07 DE OUTUBRO DE 2015 .....	163
F.8 19 DE OUTUBRO DE 2015 .....	164
<b>APÊNDICE G .....</b>	<b>165</b>
<b>APÊNDICE H .....</b>	<b>167</b>
H.1 EXCLUSÃO DOS VALORES MENORES OU IGUAIS A ZERO .....	167
H.2 EXCLUSÃO DOS VALORES MENORES OU IGUAIS A ZERO E 5% DOS MAIORES VALORES (EXTREMOS) .....	167
H.3 BSRN ( <i>BASELINE SURFACE RADIATION NETWORK</i> ):.....	167

## 1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é a maior floresta tropical do mundo e está situada no norte da América do Sul com cerca de 5,5 milhões de km<sup>2</sup>, presente nos estados do Amazonas, Amapá, Rondônia, Acre, Pará e Roraima e o Tocantins e Mato Grosso. Possui riquíssima biodiversidade com a presença de milhares de espécies animais e vegetais, tornando grande o interesse em estudos ambientais da região, em particular aqueles que envolvem o elemento climático radiação solar.

Caracteriza-se por possuir elevado índice pluviométrico, sendo que a precipitação e a cobertura de nuvens são os elementos climáticos com maior variabilidade espacial e temporal na região tropical amazônica (FISCH et al., 1998).

O clima Amazônico deve-se a combinação de diversos fatores, sendo o mais importante a disponibilidade de energia solar, pois esta incide com maior intensidade na faixa equatorial. Caracteriza-se também por possuir um alto conteúdo de vapor d'água na atmosfera, associados a altos fluxos de calor latente provenientes da superfície da floresta tropical. Esta combinação de fatores é crucial para o disparo da convecção e formação de nuvens na região.

As nuvens participam do balanço de radiação e energia terrestre (ao espalhar radiação solar no espectro do visível e absorver radiação no infravermelho), do ciclo hidrológico e são indicadores dos processos termodinâmicos da atmosfera. Deste modo, mudanças na formação, estrutura e área de cobertura de nuvens também alteram o fluxo solar incidente à superfície. Adicionalmente as nuvens podem causar alterações no perfil termodinâmico da atmosfera, modificando os fluxos turbulentos de calor sensível e latente de superfície, o processo de formação de nuvens, altura da camada limite, correntes

atmosféricas ascendentes e descendentes, taxas de evaporação e os padrões de circulação regional, entre outros.

Além disso, a região Amazônica é fortemente influenciada por oscilações interdiurnas, intrassazonais e interanuais e, conseqüentemente, por interações entre estas diferentes escalas. O período predominante da escala temporal corresponde à forçante anual. As oscilações interanuais apresentam forte variabilidade da cobertura de nuvens, e pode estar associadas a episódios de *El Niño* (EN) e *La Niña* (LN). As oscilações intrassazonais e interdiurnas apresentam uma variabilidade menor. As diferenças entre as oscilações interdiurnas e intrassazonais não são significativas, segundo o estudo de Alves et al.(2007).

Durante o período de 2014/2015, ocorreu o experimento denominado Green Ocean Amazon (GOAmazon 2014/15) (<http://campaign.arm.gov/goamazon2014>), o qual pretendeu compreender a interação nuvem-aerossol-precipitação na região de Manaus.

Este trabalho analisou os dados de radiação solar coletados durante o experimento GOAmazon, contribuindo para um maior conhecimento deste importante elemento climático e sua associação com nuvens e aerossóis, bem como seu comportamento em escalas temporal e espacial durante o experimento. Este tipo de informação ainda não havia sido obtida com uma série de dados tão extensa (23 meses) e completa (com amostra de 100% de dados para a maior parte do período).



## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Transferência de energia por radiação solar**

#### **2.1.1 Aspectos Gerais**

As duas fontes de energia radiativa da atmosfera são a radiação solar e radiação térmica emitida pela superfície da Terra. Os inúmeros processos competitivos entre a energia radiativa incidente e emitida representam o saldo de radiação. De acordo com Liou (2002), a radiação eletromagnética é o principal mecanismo responsável pela transferência de energia na atmosfera, realizando praticamente toda a troca de energia entre o sistema Terra/Atmosfera e o Universo.

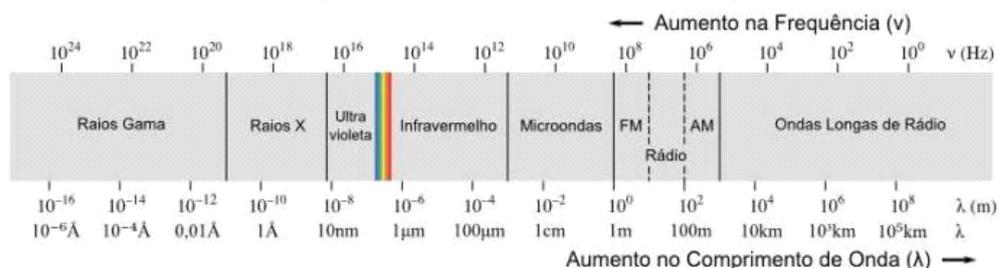
A energia emitida pelo Sol, por unidades de tempo e área, penetra na atmosfera na forma de ondas eletromagnéticas sendo denominada irradiância solar, ou irradiância de ondas curtas, como é normalmente tratada em meteorologia.

A irradiância solar constitui uma variável meteorológica importante, por ser a principal fonte de energia do planeta e porque sua distribuição, não uniforme, influencia praticamente todos os elementos do clima. Ao ser interceptada na atmosfera, a irradiância solar interage com os constituintes atmosféricos, através de complexos processos radiativos de absorção, reflexão, espalhamento e emissão. Essa energia é utilizada para diferentes processos convectivos e condutivos que ocorrem no sistema Terra/Atmosfera.

A Figura 2.1 apresenta a disposição do espectro eletromagnético: da esquerda para a direita encontram-se os raios Gama e os raios X; os raios ultravioleta (0,001 a 0,39 $\mu\text{m}$ ), a luz visível (0,39 a 0,77 $\mu\text{m}$ ), e infravermelha (0,77 a 1000 $\mu\text{m}$ ) e as usadas em RADAR, TV e Rádio (>1000 $\mu\text{m}$ ). A irradiância solar compreende o ultravioleta, visível e o infravermelho próximo (0,7 a 4  $\mu\text{m}$ ). Uma pequena porção do ultravioleta, entre 0,01 a 0,1  $\mu\text{m}$ , é atenuada pelo gás Nitrogênio (N), sendo sua maior parte, de 0,1 a 0,32 $\mu\text{m}$ , atenuada através da

combinação do oxigênio (O<sub>2</sub>) e ozônio (O<sub>3</sub>), atinge significativamente a troposfera (SEINFELD; PANDIS, 2012).

Figura 2.1 - Espectro Eletromagnético.



Fonte: Modificado de Liou (2002)

### 2.1.2 Interação entre radiação solar e atmosfera

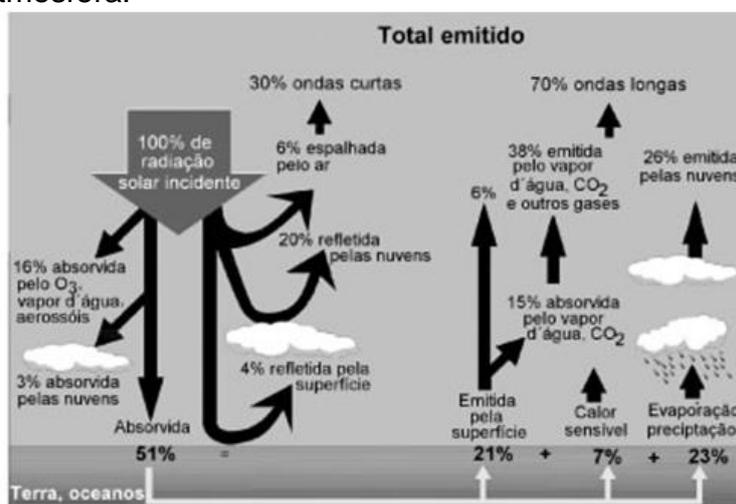
A densidade de fluxo de energia solar (ou irradiância solar), que chega ao topo da atmosfera terrestre é expressa na unidade de  $Wm^{-2}$ . A constante solar ( $S_0$ ) representa o fluxo máximo de irradiância solar que atinge o topo da atmosfera terrestre num plano perpendicular aos raios solares, sendo que seu valor médio anual corresponde a aproximadamente  $1366 Wm^{-2}$  (Liou, 2002), podendo variar entre  $1365 - 1370 Wm^{-2}$ . Esta variação ocorre devido a distância Terra e Sol, atividades solares e manchas solares.

Airradiância solar ao atravessar a atmosfera em direção à superfície terrestre, a irradiância solar pode ser absorvida, refletida ou espalhada pelos gases atmosféricos (LIOU, 2002). Os fenômenos atmosféricos que atuam como moduladores da irradiância solar entre o topo da atmosfera e a superfície, são: as nuvens em seus diversos tipos e formas, vapor d'água, partículas de aerossóis e gases atmosféricos.

Aproximadamente 30% do total de radiação solar incidente no topo da atmosfera volta pra o espaço. Cerca 25% da irradiância solar incide na

superfície na forma de radiação direta, ou seja, não sofre nenhuma atenuação na atmosfera. Outros 26% incidem à superfície na forma de radiação difusa. A soma do que chega diretamente e tendo interagido com a atmosfera totalizam aproximados 51% que são absorvidos pela superfície. Estes processos estão ilustrados quantitativamente na Figura 2.2.

Figura 2.2 - Representação gráfica dos processos radiativos que ocorrem na atmosfera.



Fonte: Fiorin et al. (2011)

Como comentado no parágrafo anterior, a irradiância solar à superfície é classificada com base nos processos radiativos em que esteve envolvida ao longo do percurso pela atmosfera. Aqui serão definidos alguns termos técnicos usuais na literatura e que serão utilizados ao longo deste trabalho:

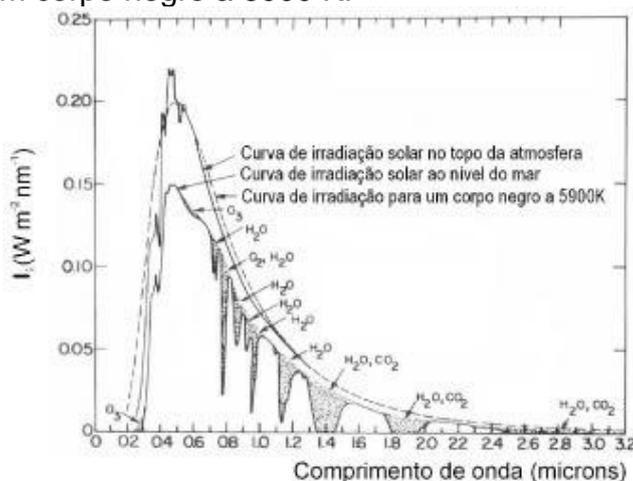
**Irradiância solar global:** Consiste no total de irradiância que incide em uma superfície horizontal, é a soma das irradiância solar difusa e irradiância solar direta.

**Irradiância solar difusa:** Consiste na irradiância solar que incide em uma superfície horizontal decorrente do espalhamento pelos constituintes atmosféricos (moléculas de gases, material particulado, nuvens, etc.).

Irradiância solar direta: Consiste na irradiância solar que incide em uma superfície horizontal sem sofrer nenhum processo de atenuação pela atmosfera.

A radiação solar pode ser absorvida ou espalhada pela atmosfera. A absorção da irradiância solar ocorre devido à presença de moléculas ou átomos que compõem a atmosfera. A Figura 2.3 apresenta a variação espectral da irradiância emitida pelo Sol por um corpo negro à temperatura de 5900 K e as irradiâncias incidentes no topo e na superfície terrestre. Observa-se que o Oxigênio ( $O_2$ ) e o Ozônio ( $O_3$ ), apresentam fortes bandas de absorção na região ultravioleta (0,001-0,39  $\mu\text{m}$ ) do espectro eletromagnético, e outras espécies como vapor d'água ( $H_2O$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ) absorvem fortemente na região do infravermelho. A região do visível apresenta-se como uma janela atmosférica, pois não ocorrem bandas de absorção neste intervalo espectral. Por esta razão, todo o sistema biótico adaptou-se para o aproveitamento da energia situada nessa faixa do espectro.

Figura 2.3 - Espectros da irradiância solar no topo da atmosfera e incidente na superfície terrestre, ao nível do mar, com o espectro de emissão de um corpo negro a 6000 K.



Fonte: Fiorin et al. (2011).

O espalhamento é um processo físico em que a radiação é redistribuída em outras direções pelas moléculas ou partículas presentes no caminho óptico, havendo a produção de irradiância difusa. O regime de espalhamento é fortemente dependente do tamanho dos constituintes atmosféricos e o comprimento de onda da radiação incidente. O espalhamento é produzido por partículas cujas dimensões são menores que o comprimento de onda da radiação incidente, como no caso de moléculas de ar, é denominado por espalhamento Rayleigh. Quando as dimensões das partículas são da mesma ordem de grandeza ao comprimento de onda da radiação incidente, o espalhamento apresenta propriedades mais complexas e sua solução é descrita pela teoria Mie (LENOBLE, 1993). Para partículas cuja ordem de grandeza são maiores que o comprimento de onda da irradiância solar, a abordagem mais conveniente é da óptica geométrica.

### **2.1.3 Interação da radiação solar com aerossóis**

Os aerossóis são componentes climáticos que influenciam direta e indiretamente na radiação solar à superfície e, conseqüentemente, no balanço de radiação, através de seu espalhamento e absorção (MYHRE et al., 2013a). No processo de espalhamento, a irradiância incidente é refletida na direção do espaço, resfriando a superfície. No processo de absorção, há aquecimento da atmosfera e o resfriamento da superfície. Ambos efeitos tendem a estabilizar a atmosfera devido a mudança no perfil termodinâmico, uma vez que há menos energia disponível na superfície fazendo com que os fluxos turbulentos sejam reduzidos. Deste modo, ocorre menos evaporação da água de vegetações e corpos de água, resultando em uma superfície mais seca. Se a atmosfera é mais estável e seca, menos nuvens podem ser formadas, considerando-se um efeito semidireto do aerossol (KOREN et al., 2004).

Processos indiretos dos aerossóis no efeito climático ocorrem devido as suas partículas atuarem como núcleo de condensação de nuvem, cuja quantidade e tipo podem alterar as propriedades e tempo de vida da nuvem na atmosfera (ANDREAE et al., 2004). Portanto, aerossóis são uma das forçantes radiativas mais importantes com larga contribuição para ao total de incertezas na estimativa da forçante radiativa do clima global (BOUCHER et al., 2013). Efeitos da interação radiação solar e o aerossol possuem grandes incertezas devido, principalmente a caracterização do aerossol, como por exemplo, suas propriedades ópticas (profundidade óptica, albedo simples, o parâmetro de assimetria) e seus perfis horizontais e verticais (BOUCHER et al., 2013). Em meio a todas as outras incertezas associadas com propriedades de aerossol, a informação inadequada sobre a distribuição vertical de aerossóis também afeta fortemente a estimativa da forçante radiativa do mesmo (FENG et al., 2015).

#### **2.1.4 Interação da radiação solar com as nuvens**

As nuvens cobrem regularmente mais de 50% do globo terrestre (LIOU, 2002), sendo que não é suficiente conhecer o tipo de nuvem para se determinar corretamente sua interação com a radiação. Determinados parâmetros microfísicos, como sua fração de cobertura e geometria, e microfísicos, como conteúdo de água líquida/gelo e distribuição de tamanho também devem ser conhecidos.

As nuvens são os principais moduladores da irradiância solar à superfície (MARTINS et al., 2003) através dos processos de absorção e espalhamento. A irradiância solar interage com as partículas de nuvem ao penetrar em seu interior, sendo que, parte da radiação solar é transmitida enquanto outra parte é retida na nuvem ou refletida de volta ao espaço. Este processo ocorre devido aos sucessivos processos radiativos de espalhamento e absorção entre a irradiância solar e os cristais e/ou gotículas de água. A componente da

radiação solar que é transmitida através da nuvem atinge à superfície terrestre, podendo ser percebida em dias nublados. A superfície da Terra absorve a irradiância solar incidente e reemite na faixa espectral do infravermelho. As nuvens funcionam como agentes que aprisionam a radiação infravermelha que é emitida pela superfície e pela atmosfera, um efeito semelhante ao efeito estufa. O efeito combinado de retenção-reflexão-transmissão da irradiância em toda a faixa do espectro eletromagnético pelas nuvens é conhecido como forçante radiativa das nuvens.

## **2.2 Amazônia**

### **2.2.1 Primeiros estudos sobre radiação solar na Amazônia**

Estudos relacionados ao tempo e clima amazônicos vêm sendo realizados pela comunidade científica desde meados da década de 70, embora de forma isolada (BRINKMANN et al., 1971; COSTA AZEVEDO et al., 1974; VILA NOVA et al., 1976; ALMEIDA et al., 1979; GOLDMAN et al., 1989). Em particular, Almeida et al. (1979) estimaram coeficientes médios de transmissividade da irradiância solar em dias de céu claro, na estação seca em Manaus-AM, e obtiveram o valor de 0,66 durante a manhã e de 0,75 durante a tarde. Posteriormente, Goldman et al. (1989) observaram que, em uma área de clareira próxima a cidade de Tucuruí-PA, a variabilidade da irradiância solar, em Maio, é mais significativa no período da manhã comparado à tarde, justificado pelo desenvolvimento convectivo das nuvens, conforme também observado por Bazzaz (1984).

Os valores máximos de radiação solar, baixa nebulosidade e movimentos de subsidência ocorrem de Maio a Setembro, durante a estação seca (Horel et al., 1989). As primeiras informações sobre irradiância solar na Amazônia foram realizadas de maneira indireta, devido à carência de dados de irradiância solar medidos de maneira adequada. As estimativas indiretas desta variável não forneciam a precisão necessária para muitos estudos (COSTA AZEVEDO et al., 1974; VILA NOVA et al., 1976). Eram obtidas com base através da razão de insolação para o período considerado, constante solar diária. Um dos primeiros estudos publicados sobre o tema, Villa Nova et al. (1976) analisaram dados de irradiância solar global e direta e obtiveram coeficientes médios de transmissão da irradiância solar global e direta para o mês de Julho em Manaus iguais a 0,81 e 0,7, respectivamente.

Villa Nova et al. (1978) pesquisaram a irradiância solar global na cidade de Manaus por meio de dados de um piroheliômetro coletados no INPA, localizado

no centro da cidade, e obtiveram que a irradiância solar média em doze meses de coleta de dados (1976-1977) foi  $400,5 \text{ Wm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , o valor máximo diário obtido foi de  $649,3 \text{ Wm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  em Novembro de 1976, sendo que a transmissividade foi de aproximadamente 81% em dia de céu limpo. Os maiores valores médios mensais da irradiância solar global ocorrem em Agosto-Setembro, entre 513 e  $541,8 \text{ Wm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , os menores valores ocorrem de Janeiro a Março, com média de  $325,0 \text{ Wm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Em um estudo complementar, Ribeiro et al. (1982) observaram que os maiores valores de irradiância solar sobre Manaus ocorrem em Setembro-Outubro e os menores de Dezembro a Fevereiro.

Salati e Marques (1984) obtiveram que a região amazônica recebe irradiância solar incidente, no topo da atmosfera, entre  $5^{\circ}\text{N}$  e  $10^{\circ}\text{S}$ , com um valor máximo de  $36,7 \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  em Dezembro/Janerio e um valor mínimo de  $30,7 \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  em Julho/julho. Estes valores são reduzidos devido à absorção e reflexão da atmosfera dados pela transmissão atmosférica, mas são, em média, de 16-18  $\text{MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  à superfície. Este comportamento também foi observado por Culf et al. (1996).

Na década de 80, a comunidade científica teve a oportunidade de estudar a região amazônica através de projetos experimentais integrados, os quais vêm sendo realizados até os dias atuais. Como exemplo, citam-se os projetos "Amazon Region Micrometeorological Experiment" (ARME) (1983-1985), descrito em detalhes por Shuttleworth et al., (1989); "Amazon Boundary Layer Experiment" (ABLE) (1985- 1987), por Viswanadham et al., (1990); "Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observational Study" (ABRACOS) (1991-1994), em Gash et al., (1996); "Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia" (LBA) em Nobre et al. (2001) e, mais recentemente, o experimento denominado de "Green Ocean Amazon" - GOAmazon (2014-2015) (<http://campaign.arm.gov/goamazon2014>), descrito em detalhes em Martin et al. (2016), cujos dados servirão de material para este estudo.

O GOAmazon 2014/15 estendeu-se de Janeiro 2014 a 30 de Novembro de 2015. O experimento foi projetado para permitir o estudo das interações entre nuvem-aerossol-precipitação, ciclos de vida dos aerossóis, fluxos de superfície que influenciam nos ciclos de formação da nuvem bem como seu tempo de vida. Estas observações forneceram um conjunto de dados, alguns nunca coletados na região, vital para parametrizações de modelos de floresta tropical, esquemas de nuvens e de convecção, componentes de vegetação terrestre e como estes dados são perturbados pela poluição. Este experimento foi financiado pelo U.S. Department of Energy/Atmospheric Radiation Measurements (DOE/ARM), o qual é uma referência em estudos de radiação solar a nível global (<http://www.arm.gov>), em colaboração com instituições americanas, brasileiras e europeias.

### **2.2.2 Aspectos climatológicos**

A região amazônica possui elevada variabilidade climática resultante de um amplo número de processos físicos, químicos e biológicos que acontecem em diversos componentes do sistema climático, tais como atmosfera, hidrosfera e biosfera (STOCKER, 2011). O aquecimento diferencial da superfície terrestre é um dos grandes responsáveis pelo tempo e clima, bem como pelo desenvolvimento da biosfera, porque este regula todos os processos biológicos. A principal característica do clima da região amazônica é a convecção tropical intensa, a qual exerce um papel fundamental no funcionamento do clima global (HOREL et al., 1989). A convecção é favorecida pela disponibilidade de energia solar e pelas características atmosféricas de grande escala que atuam na região, tais como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as circulações de Hadley-Walker, oscilações intranuais e intrassazonais, ondas atmosféricas, entrada de frentes frias extratropicais na região sul e sudoeste da Amazônia e linhas de instabilidade tropical provenientes do Oceano Atlântico (OLIVEIRA; NOBRE, 1986).

A ZCIT atua em escala planetária sobre a região equatorial e localiza-se no ramo ascendente da célula de Hadley, transferindo calor e umidade dos baixos níveis da atmosfera para os altos níveis e para latitudes médias, na região tropical. É parte integrante da circulação geral da atmosfera e suas variações, entre um ano e outro, são associadas a circulação atmosférica de grande escala. Em geral, a organização da convecção profunda durante os meses de verão, está associada à ZCIT e persistência dos sistemas frontais (MOLION, 1987). Salienta-se também o papel do Atlântico Equatorial associado com os ventos alísios como principal fonte de umidade para a Amazônia (SATYAMURTY et al., 2013).

É importante ressaltar que nos meses de inverno também há penetração de sistemas frontais sobre a Amazônia, os quais são cruciais na geração da precipitação esparsa e relativamente fraca registrada durante estes meses (KOUSKY; FERREIRA, 1981). Os sistemas frontais atuam na Amazônia como moduladores dos padrões regionais de precipitação e dependem grandemente dos balanços hídricos e da energia à superfície, impulsionados pelos ciclos sazonais e diurnos de energia solar que provocam aumento da convecção e precipitação intensa sobre grandes áreas (OBREGON, 2001).

Ricarte et al. (2015) identificou que eventos de friagem tem uma representação significativa na variabilidade climática da região amazônica, causando decaimento abrupto da temperatura do ar, redução da umidade específica do ar e aumento da pressão atmosférica na superfície. Viana (2015) propôs que o aumento do desflorestamento promove a alteração no clima local e este efeito favorece o aumento de friagens na região. A autora mostrou que, devido ao desmatamento, durante os eventos de *El Niño* (EN) há uma frequência maior de friagens quando comparado com eventos de *La Niña* (LN). Entretanto em anos de LN, a intensidade dos casos é mais significativa.

Os regimes climáticos de norte a sul ao longo do território amazônico também diferenciam-se, devido a sua grande área territorial, apresentando uma grande

variabilidade espacial e temporal da precipitação (OBREGON; NOBRE, 1990). Cavalcanti et al. (2013) definiram que o regime de precipitação sobre a parte central da Amazônia, foco deste trabalho, compreende os meses chuvosos de Janeiro a Abril, e o período seco de Julho a Setembro.

Com relação as variabilidades sazonal e interanual da radiação solar incidente sobre a Amazônia, em maior parte esta é controlada pela nebulosidade associada à intensa convecção local (HOREL et al., 1989). As nuvens são os componentes mais variáveis do sistema climático e têm um papel importante na determinação do clima, atuando como refletores da radiação solar e absorvedores da radiação terrestre. Na região amazônica, as nuvens exibem forte ciclo anual, caracterizando áreas de convecção profunda, precipitação intensa e divergências nas correntes atmosféricas em altos níveis, especialmente nos meses do verão austral (de Dezembro a Fevereiro).

O conteúdo de água da nuvem também é uma variável crucial para se estabelecer uma relação entre propriedades hidrológicas e radiativas do sistema climático, especialmente com respeito a simulações numéricas, em que constitui uma das principais fontes de erro (GREENWALD, 2007). Observa-se uma forte variação sazonal para todos os tipos de cobertura de nuvens, com o máximo ocorrendo entre Fevereiro e Março, e o mínimo, entre Julho e Agosto (MARTIN et al., 2016). As oscilações interanuais apresentam forte variabilidade na cobertura de nuvens que podem estar associadas a episódios de EN e LN (ALVES et al, 2007).

Os aerossóis dispersos na atmosfera, na região amazônica, também devem ser tratados com muita atenção, pois estes são produzidos em grande quantidade durante a estação seca, derivados de queimadas para o desflorestamento e preparação do campo para agricultura e pastagem (BRITO et al., 2014). Durante o período de queimadas o balanço de radiação da região é fortemente afetado, sendo um dos motivos a mudança no albedo da superfície causado pela queima da vegetação. Os efeitos do aerossol durante

os meses de maior queima de biomassa podem produzir reduções de insolação comparáveis às que resultam da cobertura de nuvens persistente na última fase do período chuvoso (SCHAFER et al., 2002).

As mudanças ambientais criadas durante o período de queimadas também afetam o saldo regional de energia de superfície durante todo o ano, gerando também mudanças na convecção, a formação de nuvens e precipitação (RIZZO et al., 2013; SENA et al., 2013). Uma característica geral observada durante as campanhas experimentais na Amazônia é a persistência dos aerossóis que tende a encontrar-se acima da camada limite, com plumas em altitudes de 4 a 6 km, presumidamente causada por convecção profunda (MARENGO et al., 2015).

Coelho et al. (2013a e b) identificaram os aerossóis como um mecanismo secundário em inibir a precipitação na Amazônia, contribuindo para padrões de seca observados em 2005 e 2010. Mesmo para uma atmosfera úmida e saturada, com a presença de uma abundante quantidade de aerossóis, as gotículas não crescem o suficiente para precipitar na forma de chuva. Como resultado deste processo as nuvens podem formar-se com gotas de tamanhos reduzidos. Em adição a esse efeito, os aerossóis provenientes da queima de biomassa são eficientes na absorção e espalhamento da irradiância solar. A fumaça que alcança o topo da atmosfera pode absorver irradiância solar, aquecendo a atmosfera em altos níveis. Ao mesmo tempo, esta fumaça pode também reduzir a quantidade de irradiância solar que atinge a superfície da Terra, resultando em um aumento da estabilidade termodinâmica na atmosfera. Em uma atmosfera mais estável, os movimentos verticais de massa de ar úmido que se desenvolvem próximo à superfície podem ser inibidos e, portanto, a formação de nuvens pode ser reduzida. Precipitações intensas também podem ocorrer durante a estação seca, mas devido ao aumento do *Convective Available Potential Energy* (CAPE) e mistura turbulenta, associados à circulação de Monção (GONÇALVES et al., 2015).

### **2.2.2.1 Variabilidade Interanual**

A variabilidade interanual do clima na região amazônica, especialmente no que diz respeito a precipitação, está fortemente ligada ao fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). Os eventos ENOS ocorrem em decorrência do aquecimento e resfriamento anômalo, respectivamente, das águas do oceano Pacífico. De maneira geral, o maior impacto destes eventos, sobre a região amazônica, dizem respeito a períodos de seca (durante EN) e precipitação acima do normal (durante LN).

O evento LN intensifica os ventos alísios, favorecendo a convecção, e conseqüentemente formação de nuvens e precipitação. Uma característica dos anos de LN é que a célula de Walker fica mais alongada do que em anos normais. Este fenômeno, em geral, tem frequência de 2 a 7 anos, com períodos de duração de 9 a 12 meses, e somente alguns episódios persistem por mais que 2 anos. Os valores das anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) em anos de LN têm desvios menores que em anos de EN, ou seja, enquanto observam-se anomalias de até 4,5°C acima da média em alguns anos de EN, em anos de LN as maiores anomalias observadas não chegam a 4°C abaixo da média (OLIVEIRA, 1999; RIEBEEK, 2010).

No caso do EN, estabelece-se um padrão anômalo na circulação geral da célula de Walker sobre a região amazônica, com movimento vertical ascendente sobre a região do Pacífico tropical e movimento vertical descendente sobre a Amazônia. Este mecanismo dinâmico contribui para o enfraquecimento dos ventos alísios, inibindo a convecção tropical e, conseqüentemente, a formação de nuvens e precipitação.

Muitos estudos vêm sendo realizados a fim de melhor interpretar a relação do EN com a precipitação na Amazônia. Por exemplo, Rao e Hada (1990) acharam uma correlação positiva significativa entre o Índice da Oscilação Sul (IOS) e a precipitação em algumas partes da região da Amazônia. Esta

correlação foi positiva na parte nordeste para a primavera e para a parte norte no inverno, indicando chuva abaixo do normal durante EN. Em um outro estudo complementar, Grimm et al. (1998) identificaram uma coerência acima de 95% entre eventos de EN e anomalias negativas de precipitação na Amazônia. Cavalcanti et al. (2013), utilizando vinte e nove anos de dados identificaram períodos de seis secas prolongadas na região amazônica associados a influência de EN. Recentemente, Sattayamurty et al. (2013), associaram as condições de secas do ano com a redução da convergência de umidade sobre a bacia amazônica.

#### **2.2.2.2 Variabilidade Intrasazonal**

Oscilações intrasazonais referem-se a variabilidades de baixa frequência no sistema climático, especialmente nos trópicos (Rasmusson e Arkin 1993). A Oscilação de Madden Julian (OMJ) (Madden; Julian, 1972) tem ciclo de vida ao redor do globo que dura em torno de 30 a 60 dias (Weickmann, 1991; Madden e Julian, 1994). Caracteriza-se por uma célula de circulação zonal no plano equatorial, que se propaga para leste. De acordo com Madden e Julian (1994), a variação intrasazonal OMJ modula as principais zonas de convergência no Hemisfério Sul, caracterizando a nebulosidade e a chuva na região. Esta oscilação é associada à atividade convectiva das ZCAS, com impactos nas distribuições anômalas de precipitação nos trópicos e subtropicais. Carvalho et al. (2004) mostraram que as características da variabilidade espacial e da intensidade dos eventos de precipitação no centro-leste da América do Sul são relacionadas às fases de propagação da OMJ durante o verão austral (Dezembro-Janeiro-Fevereiro).



### **3 DADOS E METODOLOGIA**

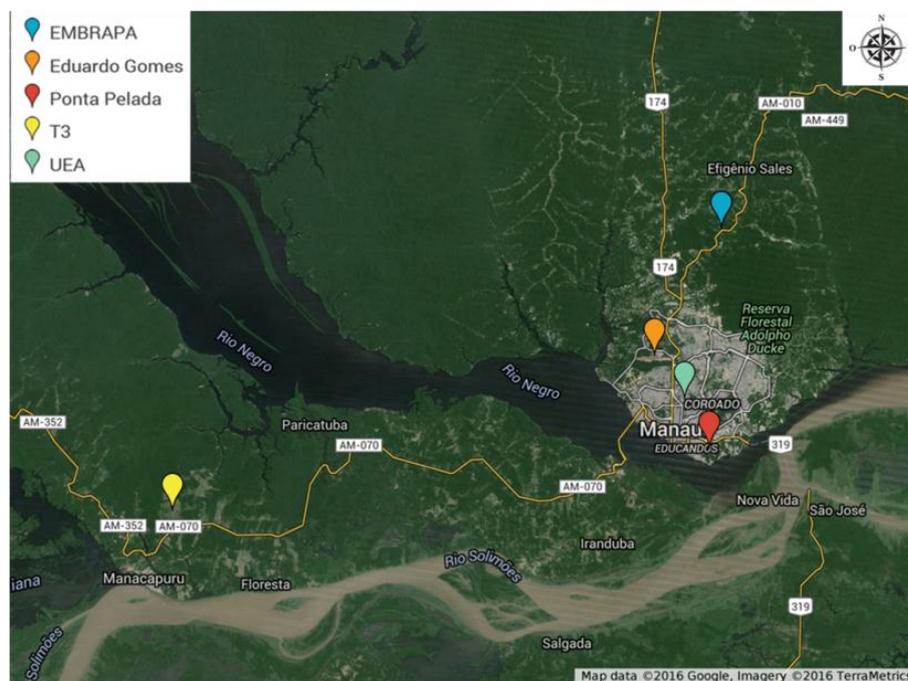
Este estudo desenvolveu-se em duas partes: a) Variabilidade temporal das componentes da irradiância solar (global, difusa e direta) e b) Variabilidade espacial da irradiância solar global.

Para as análises relativas à variabilidade temporal das componentes da irradiância solar, foram utilizados dados de irradiância solar global, direta, difusa e cobertura de nuvens no período de Janeiro de 2014 a Dezembro de 2015, durante o experimento GOAmazon 2014/15 (Martin et al., 2016). Estes dados foram coletados no sítio T3, em Manacapuru-AM (Figura 3.1). No caso do estudo da variabilidade espacial, avaliou-se a irradiância solar global em três sítios: Manacapuru (T3), Manaus (UEA) e Embrapa. Avaliou-se também a cobertura de nuvens com dados do sítio T3, do aeroporto Eduardo Gomes e Base Aérea Ponta Pelada, ambos na cidade de Manaus-AM. Os períodos utilizados para avaliar a cobertura de nuvens foram os mesmos dos experimentos intensivos de campo (IOP – *Intensive Operating Period*) de Fevereiro-Março (IOP1) e de Agosto-Setembro de 2014 (IOP2), que representam as estações chuvosa e seca, respectivamente.

#### **3.1 Área de estudo e instrumentos**

A Figura 3.1 mostra os sítios de estudo da parte espacial e temporal. O símbolo amarelo refere-se ao sítio T3, o símbolo azul a EMBRAPA e o símbolo verde a UEA. As cores laranja e verde referem-se ao aeroporto Eduardo Gomes e Base Aérea de Ponta Pelada, respectivamente.

Figura 3.1 - Sítios de estudo da variabilidade da irradiância solar.



Fonte: adaptado de Google (2016).

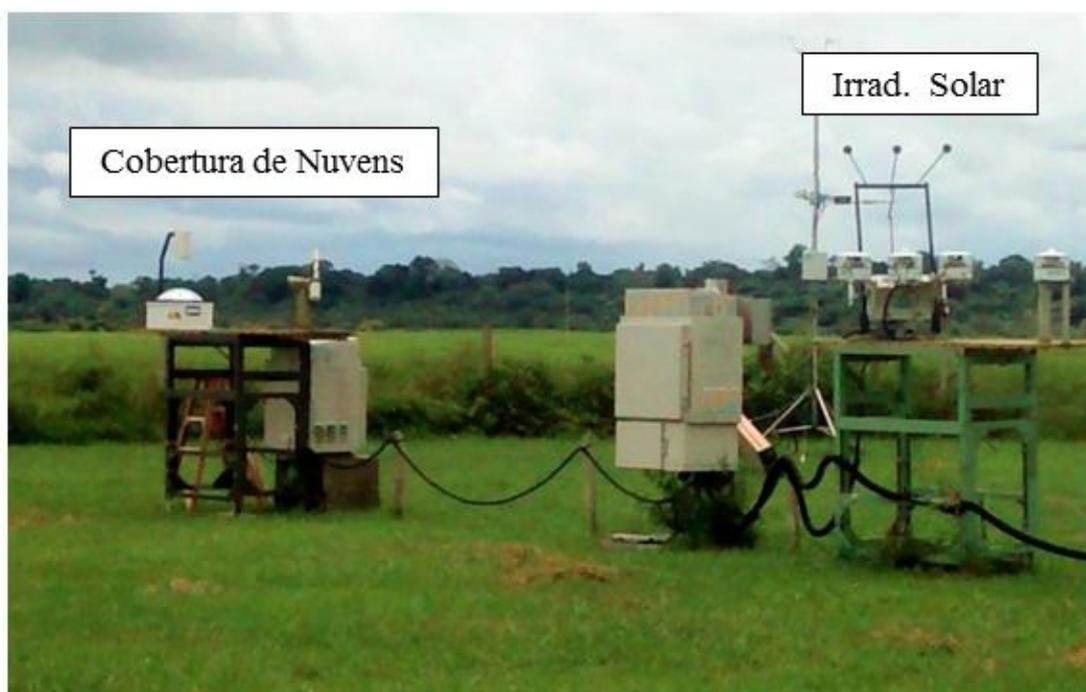
### 3.1.1 Sítio T3

O sítio T3 (3,21297 °S; 60,59805 °W) é considerado o ponto principal de coleta de dados do experimento GOAmazon 2014/15, situou-se na Fazenda Exata em Manacapuru-AM (Figura 3.2), a aproximadamente 66 km de distância ao sudoeste de Manaus. A vegetação do município é predominantemente de formação arbórea esparsa, tendo ao seu redor um relevo composto por lagos e ilhotes. O sítio foi escolhido por receber ao longo do ano a pluma de poluição vinda de Manaus, uma vez que o padrão de ventos é de nordeste, na estação chuvosa, mudando para mais à leste na estação seca (Martin et al., 2016).

No sítio T3 foram coletados dados que avaliam a concentração de aerossol, fluxos de irradiância solar e terrestre, condições do estado da atmosfera, propriedades de nuvens, propriedades da superfície, carbono na atmosfera, entre outros (Martin et al., 2016).

Os dados utilizados neste trabalho foram, em sua maioria, coletados de 01 de Janeiro de 2014 até 30 de Novembro de 2015 (quando os instrumentos começaram a ser desmontados). O acesso a todos os dados do ARM é público e garantido através de um cadastro no site (<http://www.arm.gov>). Os dados estão disponibilizados por plataformas de medição de acordo com o tipo de instrumento e/ou medida.

Figura 3.2 - Sítio T3: Instrumentos representativos das medições de cobertura de nuvens e irradiância solar no sítio.



A Tabela 3.1 mostra informações das medições, instrumentos e taxa amostral do que foi utilizado do sítio T3 e são brevemente descritos abaixo.

Tabela 3.1 - Informações das medições utilizadas do sítio T3

Variável	Instrumento	Taxa amostral
Irradiância Solar	Skyrad	
Global	Piranômetro	1/min
Difusa	Piranômetros sombreados	1/min
Direta	Piroheliômetro	1/min
Fração de Nuvens	Total Sky Imager	1/ 30s
Precipitação	Pluviômetro / Laser disdrômetro	1/min / 1/min
Profundidade óptica de Aerossol em 500 nm	Cimel Sun Photometer	1/s

SKYRAD (Sky Radiation) - A plataforma denominada SKYRAD (Figura 3.4) é composta de três sensores para as medições contínuas, minuto a minuto, de irradiância solar global, difusa e direta.

As medidas de irradiância solar global são realizadas por um piranômetro do fabricante Eppley (modelo PSP), a irradiância solar difusa é obtida através da média de três piranômetros sombreados (Michalsky et al., 2007) (*Epply hemispheric precision spectral pyranometer*, modelo 8-48, Habte et al., 2013). A irradiância solar direta é medida por um piroheliômetro Eppely (modelo NIP) preso ao rastreador solar (Figura 3.3). Estes radiômetros fazem medições para os intervalos de comprimento de onda entre 0,3 e 3  $\mu\text{m}$  (SKYRAD HANDBOOK, 2004).

As calibrações dos radiômetros do ARM são realizadas periodicamente pela Radiometric Calibration Facility (RCF) que é uma colaboração técnica científica

entre o National Renewable Energy Laboratory (NREL) (<http://www.nrel.gov>) e o ARM. O RCF é projetado para calibrar radiômetros nas condições de tempo semelhantes aquelas que os instrumentos encontrarão nas medições em campo. São utilizados radiômetros de cavidade absoluta para calibrar piroheliômetros (direta normal) e piranômetros (difusa) e hemisférica total (global).

Os radiômetros de referência são calibrados a cada cinco anos na World Radiometric Reference (WRR), na Suíça. Ao participar nestas comparações, o instrumento padrão de referência dos radiômetros da ARM tem rastreabilidade direta para o WRR. Anualmente, esse instrumento de padrão de referência é comparado com outros radiômetros de cavidade utilizados nos laboratórios do Departamento, na Administração Oceânica e Atmosférica Nacional (NOAA), e da indústria privada para transferir a calibração para os chamados padrões de trabalho. Os sensores da plataforma SKYRAD foram calibrados antes de serem enviados para as medições de campo e serão re-calibrados após a coleta de dados, possivelmente no segundo semestre de 2016.

Figura 3.3 - Plataforma Sky Radiation (SKYRAD).



TSI (Total Sky Imager) - O Total Sky Imager (TSI-600) é um imageador que processa, em tempo real, as condições de nebulosidade (Figura 3.4). Este instrumento possui uma calota convexa espelhada voltada para o céu, sobre uma base, onde está fixado um braço que sustenta uma câmera apontando para o centro da calota. Deste modo ele capta uma série de imagens do céu durante as horas de brilho solar e a fração de nuvens no céu para períodos em que a elevação solar é maior do que 10 graus. O TSI, deste estudo, disponibilizou imagens com informações do céu de cada 30 segundos. No processamento da imagem do TSI, são excluídas algumas sombras, como por exemplo, a do braço que sustenta a câmera. A fração de nuvem, por fim, é determinada em um algoritmo de processamento que examina a cor dos *pixels*, no sistema de cores RGB (*Red, Green, Blue*) restantes na imagem e define se o *pixel* representa céu claro ou com nuvem (TSI HANDBOOK, 2005).

Long (2006) mostrou que as observações do da ferramenta TSI é um método que pode ser utilizado para complementar,, ou até mesmo substituir, o método tradicional, que se baseia na observação humana através da sua habilidade para determinar o tipo de nuvem. Os *pixels* de nuvem podem ser subclassificados pelo TSI como fino ou opaco.

Um valor específico é escolhido pelo operador do TSI para classificar o *pixel* como com ou sem nuvem, a partir da fração R/B. Deste modo valores acima de determinado valor da fração referem-se a *pixels* de nebulosidade e abaixo do valor limite como sendo de céu claro. No caso dos dados da ARM utilizados neste trabalho, o que é disponibilizado é o dado final de fração de nuvem.

Silva e Echer (2013) determinaram a fração de nuvem a partir de um método que utilizava imagens do TSI. O autores obtiveram uma concordância de  $r^2=0,72$  com as informações de nuvens obtidas por satélite. Também, Echer et al. (2013) usando o mesmo sistema de mapeamento de cobertura de nuvens e outro por inspeção visual, verificaram que plataformas distintas apresentam

reprodutibilidade e sensibilidade para cenário atmosférico de céu completamente claro e completamente nublado.

As incertezas destas medições referem-se a parte do céu que estará obscurecida pela câmera e seu suporte, quantidade de *pixels* na borda externa da imagem para ser excluída durante o processamento, efeito de perspectiva que produz um falso efeito de cobertura de nuvens com grandes ângulos zenitais, brilho intenso para grande ângulos zenitais produzido pelo intenso espalhamento da luz solar, dificuldades de delimitar bordas e partes finas da nuvem. Os aerossóis tendem a parecer branco-pálidos para a câmera, devido ao baixo grau de dependência da irradiância solar com o comprimento de onda. Devido a isso, amplas áreas em torno do sol podem ser erroneamente consideradas nuvem pelo algoritmo do TSI. Ainda não existe um método eficiente para diferenciar completamente nuvens de aerossóis usando somente a relação *Red/Blue* (LONG, 2010).

Figura 3.4- Total Sky Imager (TSI).



### 3.1.1.1 Disdrômetro

O laser disdrômetro parsível2 (Figura 3.5), do fabricante OTT ([www.ott.com](http://www.ott.com)), mede a taxa de precipitação em mm/hora. Este instrumento é capaz de medir o diâmetro e a velocidade da queda das gotas através do nível perturbação na potência do feixe laser quando a gota o atravessa. O instrumento faz observações sobre a distribuição de tamanho de partícula na gama de 0,06 a 24 milímetros, classifica o tipo de precipitação e compreende 8 tipos de hidrometeoros: garoa, mistura de garoa/chuva, chuva, mistura de chuva/neve, neve, grãos de neve, chuva congelada e granizo (HANDBOOK, 2014).

Figura 3.5 - Laser disdrômetro parsível2.



### 3.1.1.2 Cimel Sunphotometer

O Cimel Sunphotometer (CSPHOT) (Figura 3.6) é um radiômetro operado pela rede de fotômetros NASA/AERONET (*Aerosol Robotic Network*). Este é um radiômetro automático de multicanais que faz medidas apontando para o disco solar e em ângulos de espalhamento específicos. Suas medições são feitas em comprimentos de onda do visível e infravermelho próximo do espectro para determinar transmissão atmosférica e as propriedades de dispersão. Sua principal função é obter propriedades de vapor total de água na coluna, ozônio e aerossol (partículas de fumaça, poeira do deserto, neblina urbana, etc.) usando uma combinação de filtros espectrais controlados por um microprocessador.

Neste trabalho foram calculadas as médias mensais dos dados de AOD (*Aerossol Optical Depth*) como análise complementar ao que foi observado das irradiâncias solar global, direta e difusa. O dado foi obtido na página da web AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>), para a estação denominada ARM\_manacapuru, onde pode ser encontrado em duas versões (1 e 2) e três níveis de qualidade (níveis 1,0, 1,5 e 2,0) para cada produto. Os níveis 1,0 (quando o dado está bruto) e 1,5 (quando é excluída a presença de nuvens) são fornecidos em quase em tempo real, o nível 2 demora de 12 meses ou mais para ser disponibilizado, por passar pela calibração final e inspeção manual que é feita quando o mesmo volta a NASA. A última versão de AOD disponível para todo o período de tempo abordado neste trabalho foi a 1,5, sendo estes dados utilizados nas análises do Capítulo 4.

Utilizaram-se as informações de AOD no comprimento de onda de 550 nm levando-se em conta que este é o comprimento no visível, região onde a atmosfera limpa é praticamente transparente à radiação solar.

Figura 3.6 – Cimel Sunphotometer (CSPHOT).



### 3.1.2 Sítio Embrapa

Este sítio (3,4803545 °S; 59,874560 °W), apresentado na Figura 3.7 efetuou medições de temperatura, direção do vento, velocidade, pressão atmosférica, precipitação, entre outros e situa-se na área rural 22 km ao norte de Manaus. A Tabela 3.2 mostra informações das medições, instrumentos e taxa amostral do que foi utilizado do sítio EMBRAPA.

Figura 3.7- Sítio EMBRAPA.

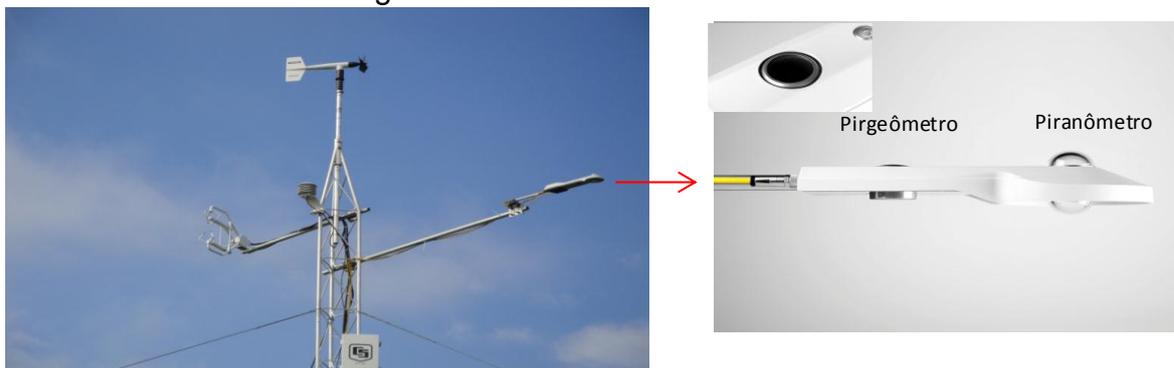


Tabela 3.2 - Informações das medições utilizadas do sítio EMBRAPA

Variável	Instrumento	Taxa amostral
Irradiância Solar	CNR 4 (Kipp&Zonen)	1/min
Chuva	Pluviômetro	1/min

O radiômetro CNR 4 (Kipp&Zonen) apresentado na Figura 3.8 mede o balanço de radiação. Ele é composto de um par piranômetros (ondas curtas) e de pirgeômetros (ondas longas), sendo um virado para cima e outro virado para baixo para as medições de irradiância incidente e refletida ou emitida. Os 4 sensores são integrados no corpo do instrumento, faz as medições na faixa espectral entre 0,3 e 2,8  $\mu\text{m}$  (ondas curtas) e entre 4,5 e 42  $\mu\text{m}$  (ondas longas) e foi instalado a uma altura de 8,5 m acima do solo. Os dados deste instrumento foram disponibilizados a cada minuto.

Figura 3.8- Radiômetro CNR 4.



### 3.1.3 Sítio UEA

Este sítio (3,0926609 °S; 60,0256949 °W), apresentado na Figura 3.9, realiza medições de temperatura, direção do vento, velocidade, pressão atmosférica, precipitação e irradiância solar e situa-se na área urbana de Manaus. A Tabela 3.3 mostra informações das medições, instrumentos e taxa amostral do que foi utilizado do sítio UEA.

Figura 3.9- Sítio UEA.

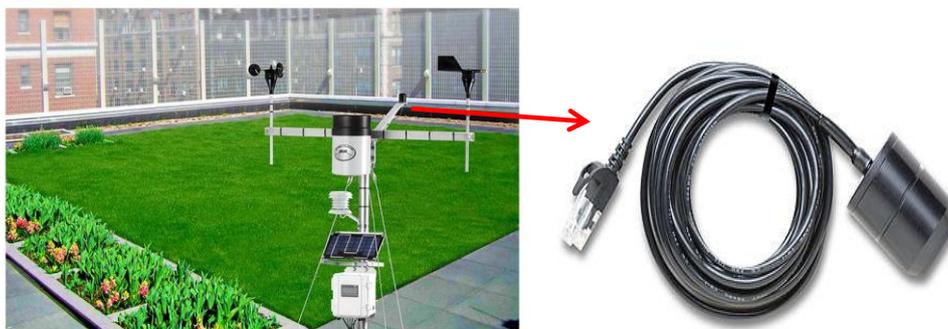


Tabela 3.3 - Informações das medições utilizadas do sítio UEA.

Variável	Instrumento	Taxa amostral
Irradiância Solar Global	Piranômetro	1/5min
Precipitação	Pluviômetro	1/5 min

Piranômetro de silício modelo S-LIB-M003. Figura 3.10 é um radiômetro que oferece medições de irradiância solar global para a faixa de medição entre 0 a  $1280 \text{ Wm}^{-2}$  no comprimento de ondas entre 0,3 e  $1,1 \mu\text{m}$ . Opera em temperaturas entre  $-40^\circ$  e  $75^\circ\text{C}$ . Os dados deste instrumento foram disponibilizados com taxa de amostragem de 5 minutos.

Figura 3.6-Piranômetro S-LIB-M003.



### 3.1.4 Aeroporto Eduardo Gomes e Base Aérea de Ponta Pelada

No aeroporto Eduardo Gomes e Base Aérea de Ponta Pelada foram usados pluviômetros do mesmo modelo. Um pluviômetro Vaisala, modelo RG13, mostrado na Figura 3.11. Este instrumento tem sensibilidade para medir precipitação a partir de 0,2mm. Possui uma área de captação de chuva com abertura de 400 cm<sup>2</sup>e opera em temperaturas entre 1 e 85°C.

Figura 3.7- Pluviômetro RG13.



## 3.2 Metodologia: Análise da variabilidade temporal e espacial

A variabilidade temporal do ciclo diário será avaliada para cobertura de nuvens, irradiância global e suas componentes direta e difusa, apenas para o sítio T3, utilizando uma série de 23 meses de dados (de Janeiro de 2014 até Novembro de 2015). A variabilidade é avaliada através do cálculo do desvio padrão da integral média mensal e ciclo diário médio da radiação solar mensal para intervalos de trinta minutos (entre 6 e 18 horas). Estes cálculos estão disponíveis em tabelas apresentadas nos apêndices A, B, C e D.

Para o estudo da variabilidade espacial foram selecionados cinquenta dias representativos da estação chuvosa (denominados de IOP1 que compreende de 1 de Fevereiro à 22 de Março) e outros cinquenta dias da estação seca (IOP2 que compreende 1 de Agosto a 19 de Setembro) do ano de 2014, para os sítios. A distância entre os sítios, em linha reta, pode ser vista na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Distância entre os sítios em linha reta.

		Distância (km)
Irradiância Solar	T3 - UEA	66
	T3 - EMBRAPA	79
	EMBRAPA - UEA	22
Cobertura de Nuvens	T3 – E. Gomes	64
	T3 – P. Pelada	70
	P. Pelada - E. Gomes	13

### 3.2.1 Cálculo da Transmissividade da Atmosfera (Kt)

A transmissividade (Kt) é definida como a razão entre a irradiância solar global à superfície e aquela que ocorre no topo da atmosfera (TOA –*Top Of Atmosphere*). Este índice é adimensional e possibilita uma análise da transparência ou da transmissividade da atmosfera. Para determinação do Kt é necessário que seja primeiramente calculado o valor da TOA, que é obtido através de:

$$TOA = S_0 * E_0 * \cos \theta_z \quad (3.1)$$

Onde  $S_0$  é o total médio de irradiância solar que incide na órbita da Terra em um plano perpendicular aos raios solares, no topo da atmosfera, e é denominada constante solar. Foi assumido o valor de  $1366 \text{ Wm}^{-2}$ .

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \quad (3.2)$$

$\theta_z$  é o ângulo zenital solar, o qual é feito entre os raios solares e a vertical local.  $\phi$  é a latitude e  $\omega$  é o ângulo horário, que representa a medida de quanto tempo sideral passou desde que o Sol esteve no meridiano local:

$$\omega = (\text{Hora} - 12) * 15 \quad (3.3)$$

$\delta$  é a declinação solar, a qual representa o ângulo feito entre o plano do Equador e a reta definida pelos centros da Terra e do Sol. A declinação solar varia com o passar do ano e é mínima no solstício do inverno ( $+ 23 45^\circ$ , 21 de Julho no HS) e máxima no solstício do verão ( $- 23 45^\circ$ , 21 de Dezembro no HS) e é obtida através da Equação (3.4).

$$\delta = (0,006918 - 0,399912 \cos \Gamma + 0,070257 \sin \Gamma - 0,006758 \cos 2\Gamma + 0,000907 \sin 2\Gamma - 0,002697 \cos 3\Gamma + 0,00148 \sin 3\Gamma) \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (3.4)$$

A distância máxima Terra-Sol é denominada afélio ( $153 \times 10^6 \text{ km}$ ) e a mínima periélio ( $147 \times 10^6 \text{ km}$ ), sendo a distância média ( $r_0$ ) de  $150 \times 10^6 \text{ km}$  (Liou, 2002). A distância Terra-Sol ( $r$ ) pode ser obtida para qualquer dia com significativa precisão.  $E_0$  representa o fator de correção da excentricidade da órbita da Terra e depende unicamente de  $r/r_0$  ou do dia angular ( $\Gamma$ ):

$$E_0 = \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 = 1,000110 + 0,034221 \cos \Gamma + 0,001280 \sin \Gamma + 0,000719 \cos 2\Gamma + 0,000077 \sin 2\Gamma \quad (3.5)$$

O dia angular é:

$$\Gamma = \frac{2\pi(d_n-1)}{365} \quad (3.6)$$

Onde  $d_n$  é o dia juliano.

Foi obtido o valor de Kt médio para cada mês de dados para compreensão das atenuações da atmosfera ao longo dos meses. O cálculo do Kt foi feito para cada 30 minutos, entre 6 e 18 horas local, totalizando 24 valores para o dia. Estes valores foram dispostos em matrizes de 24 linhas x 31 colunas (por exemplo, para meses de 31 dias). A partir destes valores, foi feita a média mensal horária do TOA. Este valor foi dividido pelo valor médio mensal horário da irradiância solar a superfície.

### 3.3 Decomposição da irradiância solar direta

A decomposição da irradiância solar direta foi necessária devido ao piroheliômetro estar acoplado ao rastreador solar que captura a irradiância solar direta sob um ângulo de 90° em relação ao sensor. Desse modo, a incidência desta irradiância não pode ser imediatamente utilizada, sendo necessária sua decomposição no plano horizontal. A decomposição foi feita multiplicando-se a irradiância solar direta pelo cosseno do ângulo zenital. O ângulo zenital é descrito Capítulo 3.2 e a multiplicação pelo seu cosseno é dada pela Equação 3.2.

Foram observados alguns valores mínimos negativos elevados ao longo das amostras de trinta minutos de dados. Este comportamento foi especialmente notado nos dados de irradiância solar direta. Na tentativa de excluir possíveis erros destes dados e tornar a média mais coerente com o real, foram aplicadas metodologias ao longo do trabalho. Após os testes, optou-se por

trabalhar com os dados brutos, pois na média, não houve diferenças expressivas entre o dado bruto e o que foi testado. Os resultados mostrados no Apêndice I.

### **3.4 Teste de significância estatística**

Aplicou-se um teste de significância estatística, pelo método de T-Student, para comparar-se as diferenças entre os valores integrais diários médios mensais dos anos de 2014 e 2015. O teste de significância estatística permite aceitar ou rejeitar uma hipótese formulada com base nos resultados de uma amostra de dados. Trabalha-se com uma hipótese nula ( $H_0$ ) de que não existe diferença entre os valores médios de duas amostras, fixando-se um o nível de significância para identificar a estatística do teste.

O nível de significância é probabilidade máxima de rejeitar  $H_0$ . Se, por exemplo, utiliza-se o nível de significância de 5%, a hipótese nula ( $H_0$ ) será rejeitada somente se o resultado da amostra for tão diferente do valor suposto que uma diferença igual ou maior ocorreria com uma probabilidade máxima de 0,05. Se o valor da estatística do teste cair dentro da região crítica, rejeita-se  $H_0$ . Ao rejeitar a  $H_0$  existe uma forte evidência de sua falsidade. Ao contrário, quando se aceita a hipótese, diz que não houve evidência amostral significativa no sentido de permitir a rejeição de  $H_0$ .



## **4 RESULTADOS**

### **4.1 Variabilidade temporal**

#### **4.1.1 Chuva e cobertura de nuvens**

As Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 mostram o ciclo sazonal da precipitação ao longo dos anos 2014 (Figura 4.1a, 4.2a e 4.3a) e 2015 (Figura. 4.1b, 4.1.2b e 4.3b) no Aeroporto Eduardo Gomes, Base Aérea de Ponta Pelada e sítio T3, respectivamente. Em 2014 o maior total acumulado foi no sítio T3, com 2451,6 mm. O segundo maior acumulado foi o Aeroporto Eduardo Gomes, com total de 2263 mm, sendo 8% menor que o sítio T3. A Base Aérea de Ponta Pelada apresentou o menor total acumulado anual, 1252,1 mm, sendo praticamente metade do que no T3.

Em 2015, o máximo total acumulado também ocorreu no sítio T3 (2037,6 mm), sendo que para este sítio, considerando-se o total de chuva apenas entre Janeiro e Novembro, diferente para os outros sítios que foi considerado o ano todo.. No sítio T3, observou-se que em 2014 ocorreu mais eventos de chuva ao longo do ano, se comparado com 2015, porém observou-se o evento de maior acumulado, 108 mm/dia, no dia 6 de Maio de 2015.

O ano de 2015 foi mais seco em relação a 2014 para os três sítios, mostrando que esta foi uma configuração geral na região, devido a ocorrência de um evento de EN.. Ressalta-se que, no sítio T3, os dados utilizados para a composição da precipitação no ano de 2014, Figura 4.3a, foram fornecidos por um pluviômetro para o período de Janeiro a Setembro e por um disdrômetro para o período de Outubro a Dezembro. Para a composição da Figura 4.3b, referente ao ano de 2015, utilizou-se apenas dados de disdrômetro.

A diferença do total anual de precipitação entre os anos de 2014 e 2015 no Aeroporto Eduardo Gomes foi de 959,2 mm, que representa uma redução de 42%. Na Base Aérea de Ponta Pelada, a diferença foi de 356,4 mm, representando redução de 28%. Para o sítio T3, esta diferença foi de 191,9 mm, que representa uma redução de 9%, mas, neste caso, foi considerado o

total de chuvas entre Janeiro e Novembro dos anos (no mês de Dezembro de 2015 os instrumentos já haviam sido desmontados).

Figura 4.1- Ciclo anual da precipitação diária (mm/dia) no aeroporto Eduardo Gomes em: (a) 2014 e (b) 2015.

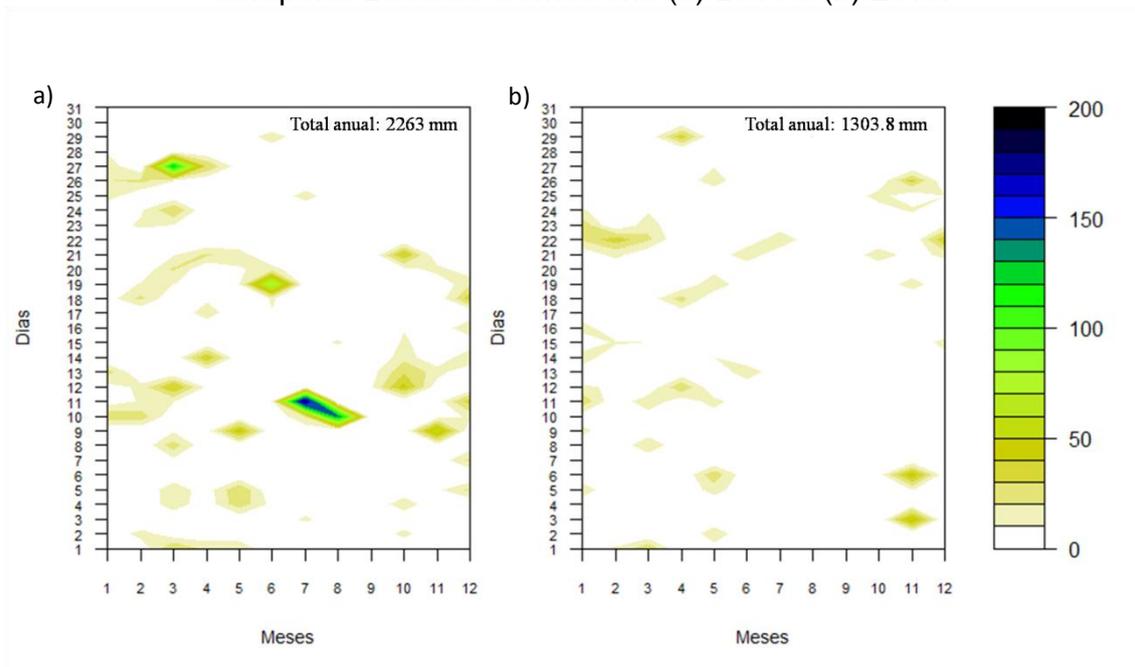


Figura 4.2- Ciclo anual da precipitação diária (mm/dia) na Base Aérea de Ponta Pelada em: (a) 2014 e (b) 2015.

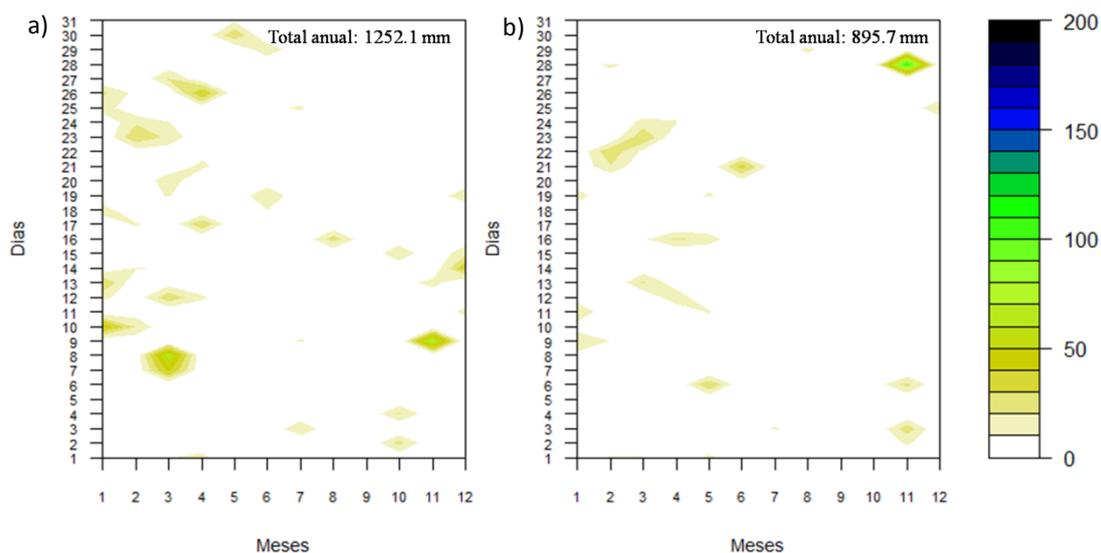
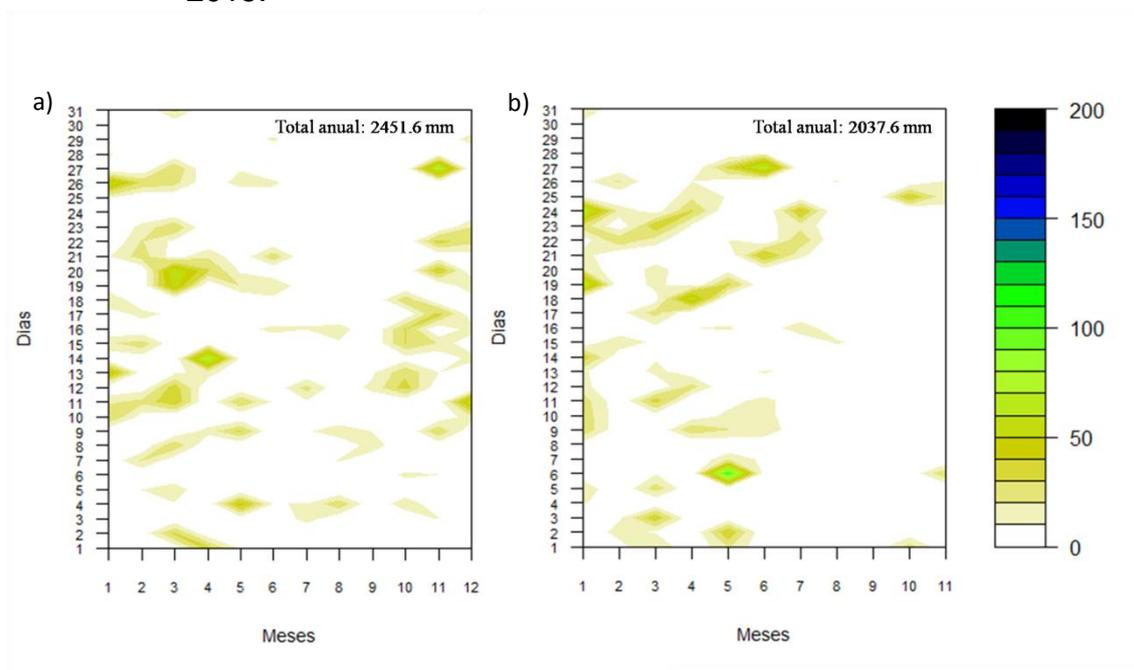


Figura 4.3 - Ciclo anual da precipitação diária (mm/dia) em T3: (a) 2014 e (b) 2015.



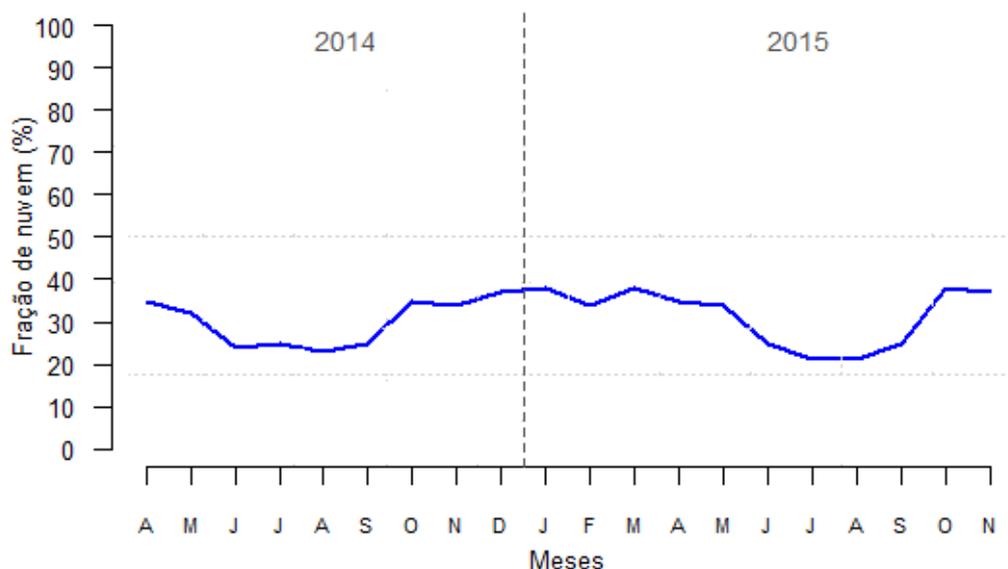
Dando sequência as análises, na Figura 4.4 são mostrados os valores médios mensais de fração de nuvem de Abril de 2014 a Novembro de 2015 medidos no sítio T3. Observou-se, de modo geral, que os valores das frações de nuvens foram semelhantes entre os anos, situando-se entre valores típicos de 25% (estação seca) e 40% (estação chuvosa). Este resultado aproxima-se dos valores encontrados por Machado et al. (2004) que, em estudo com dados climatológicos derivados de satélite, obtiveram que a fração de nuvem varia de 15 a 45% na estação chuvosa e de 0 a 20% na estação seca. A cobertura de nuvens e precipitação em Manaus é menor em julho e Agosto durante o período central da estação seca e a máxima em Fevereiro e Março, na estação chuvosa (MARTIN et al., 2016).

As diferenças dos valores da cobertura de nuvens, resultantes da subtração dos valores médios mensais de 2015 dos valores do ano 2014 (apresentadas no Apêndice A) ficaram em torno de 10%, predominando em alguns meses resultados positivos (Março, Junho e Agosto) e em outros resultados negativos (Abril, Maio, Julho, Setembro, Outubro e Novembro). As diferenças mais

expressivas ocorreram entre os horários das 10 e 16 horas, que são os horários de maior convecção ao longo do dia. Machado et al. (2004) encontraram que, de modo geral, a máxima cobertura de nuvens está relacionada com a maior atividade convectiva.

Em 2015, a cobertura de nuvens média mensal foi sutilmente reduzida em alguns meses secos, como pode ser observado (Figura 4.4). Atribui-se este fato ser devido a ocorrência do evento EN, nos quais as atividades de convecção, formação de nuvens e presença de chuva é reduzida. Em um estudo feito para nuvens altas na Amazônia Central, Alves et al. (2007) observaram que as oscilações interanuais associadas aos fenômenos EN/LN contribuem fortemente para a variabilidade da cobertura de nuvens.

Figura 4.4- Ciclo sazonal da fração de cobertura de nuvem de Abril de 2014 a Novembro de 2015 no sítio T3.



#### 4.1.2 Integral diária média da irradiância solar

A Figura 4.5 apresenta a média mensal da integral diária das irradiâncias solar global, direta, difusa e no topo da atmosfera. A variação destes valores entre os anos 2014 e 2015 será objeto de uma análise especial apresentada na seção 4.1.3.

Observou-se que os valores da irradiância solar global e direta assemelharam-se em variação, quanto aos períodos dos valores máximos e mínimos. Os valores apresentados seguem a climatologia da região, com os maiores valores próximos de  $21 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  durante a estação seca e os menores valores de aproximadamente  $16 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  na estação chuvosa. Estes resultados estão próximos daqueles encontrados por Salati e Marques (1984), que obtiveram valores médios variando entre 16 a  $18 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ , com os valores máximos ocorrendo em Setembro/Outubro e os mínimos em Dezembro/Fevereiro. Culf et al. (1996), para uma área de fazenda a 100 km ao Norte de Manaus, obtiveram valores entre  $14,54 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  e  $14,99 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  na estação chuvosa e de  $16,02$  a  $18,64 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  na estação seca. Feitosa et al. (1998), para uma área de pastagem no estado de Rondônia, obtiveram irradiância solar global durante a estações seca com valor de  $17,1 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  e chuvosa com valor de  $16,9 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ .

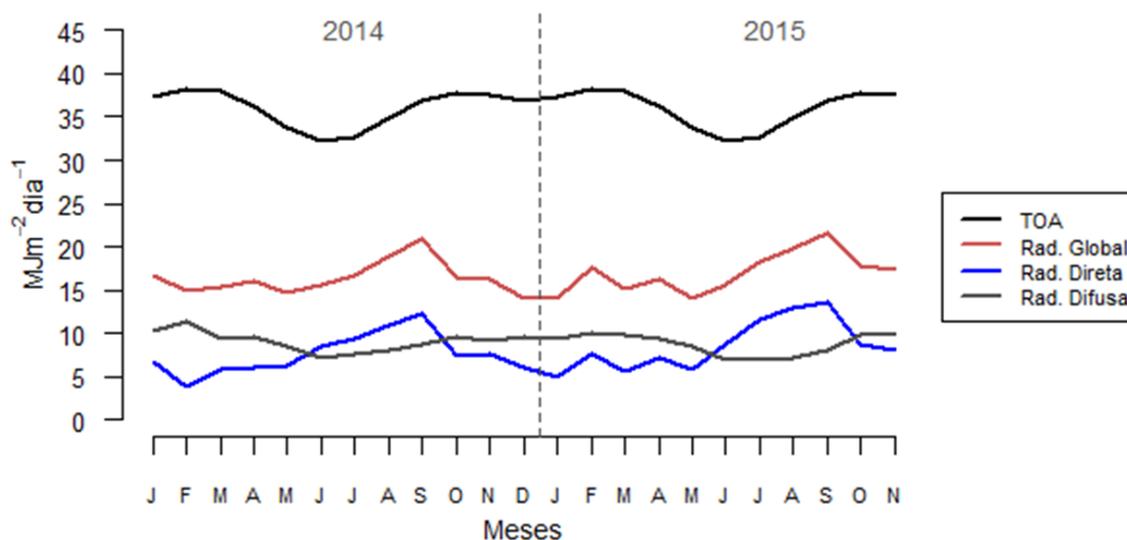
A irradiância solar no topo da atmosfera teve o seu valor máximo em Fevereiro ( $38,2 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ) e o seu valor mínimo em julho ( $32,3 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ), sendo isto associado com a declinação solar. Salati e Marques (1984) encontraram, considerando a área situada entre  $5^{\circ}\text{N}$  e  $10^{\circ}\text{S}$ , valores máximos de  $36,7 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  em Dezembro/Janeiro e  $30,7 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  em Junho/Julho.

A irradiância solar difusa teve um comportamento com pouca variabilidade, se comparada com as demais componentes, apresentando uma variação de  $4 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  entre as estação seca e chuvosa. Os maiores valores (tipicamente de  $11 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ) ocorrendo na estação chuvosa e os menores (tipicamente de  $7 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ) no período seco.

A irradiância solar direta apresentou seus valores máximos e mínimos nos mesmos meses que a irradiância solar global, porém em menor magnitude. Os valores máximos ocorreram no período seco (da ordem de  $12 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ) e os valores mínimos no período chuvoso (da ordem de  $4 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ), devido a menor ou maior cobertura de nuvens, respectivamente.

A irradiância solar difusa, conseqüentemente, foi superior ao valor da irradiância solar direta no período chuvoso, ocorrendo o contrário no período seco. Os valores da irradiância solar global e direta foram superiores no período seco de 2015 se comparados ao mesmo período de 2014, pois houve uma menor cobertura de nuvens, característico dos anos de EN. A irradiância solar difusa foi inferior no período seco de 2015 comparado ao mesmo período de 2014, como já era esperado devido ao comportamento mais elevado da irradiância solar direta e global comparado a 2014.

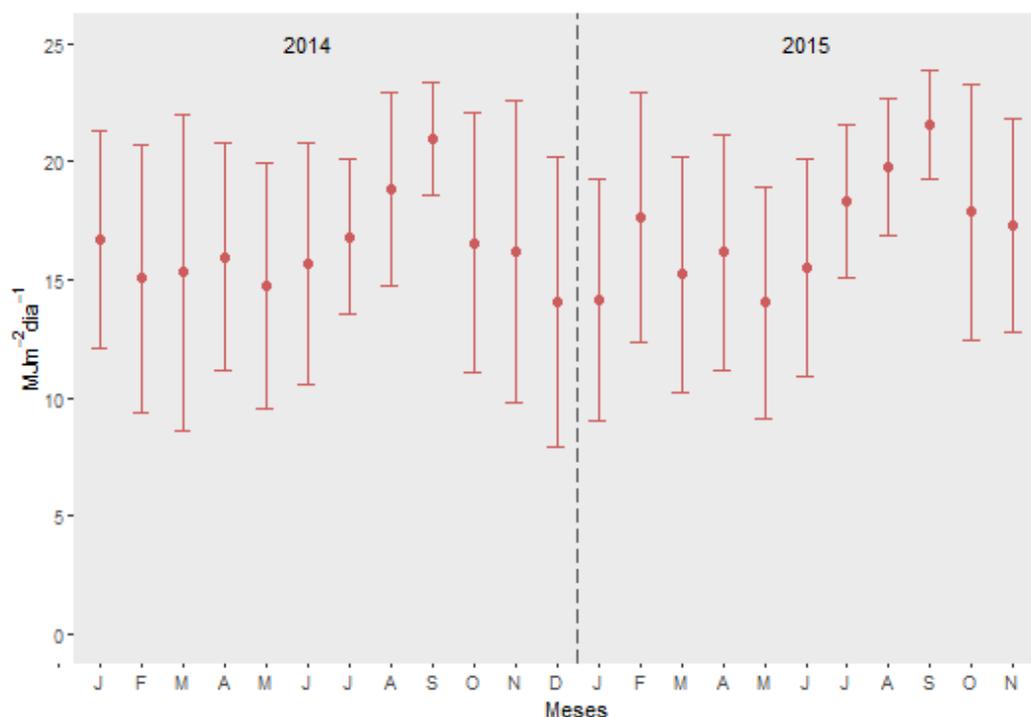
Figura 4.5- Ciclo sazonal do valor integral diário médio da irradiância solar no topo da atmosfera, global, direta e difusa, de Janeiro de 2014 a Novembro de 2015.



Visando analisar com mais detalhes a variabilidade temporal da integral da irradiância solar global, difusa e direta, os seus valores médios e respectivos desvios padrões são apresentados, de forma separada, nas Figuras 4.6, 4.7, 4.8, respectivamente.

Da integral diária média mensal da irradiância solar global (Figura 4.6), observou-se que estes variaram de 14 a 21 MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>, onde os maiores valores ocorreram em setembro e os menores em maio, para ambos anos. Quanto a variabilidade, observou-se que os menores valores ocorrem em meses secos, especialmente setembro, em torno de 2,3 MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup> (correspondente a 11% sobre o valor médio). Isto decorre da menor quantidade de cobertura de nuvens. De Janeiro a Agosto, nos dois anos (2014 e 2015), as variabilidades foram de 3,2 a 5,5 MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>.

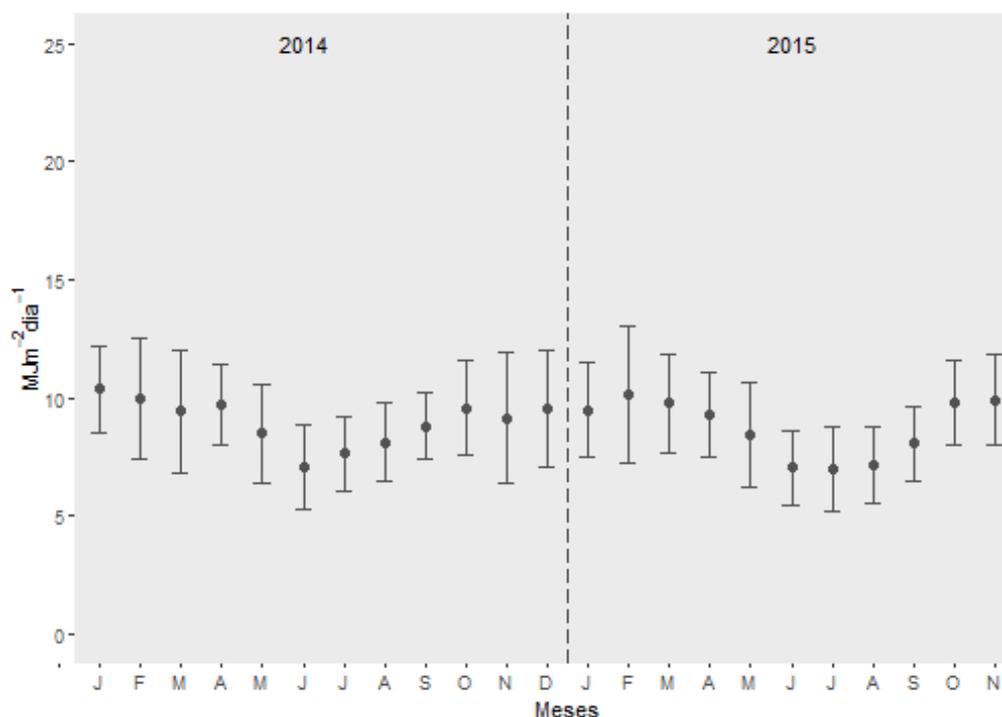
Figura4.6- Ciclo anual da integral diária (valor médio e desvio padrão associado) da irradiância solar global de Janeiro de 2014 a Novembro de 2015.



Com relação aos valores analisados de irradiância solar difusa (Figura 4.7), observou-se que estes apresentam variabilidade entre 1 e 3 MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup> (correspondente de 5 a 10% dos valores médios) ao longo dos 23 meses abordados. Não há na revisão de literatura, feita até o presente momento, valores de referências do valor integrado diário da irradiância solar difusa para a região deste estudo. Apesar deste fato, uma série de estudos vem sendo realizados no sentido de compreender a interferência dos aerossóis no balanço de irradiância e incremento da porção difusa da irradiância solar, especialmente para processos de fotossíntese.

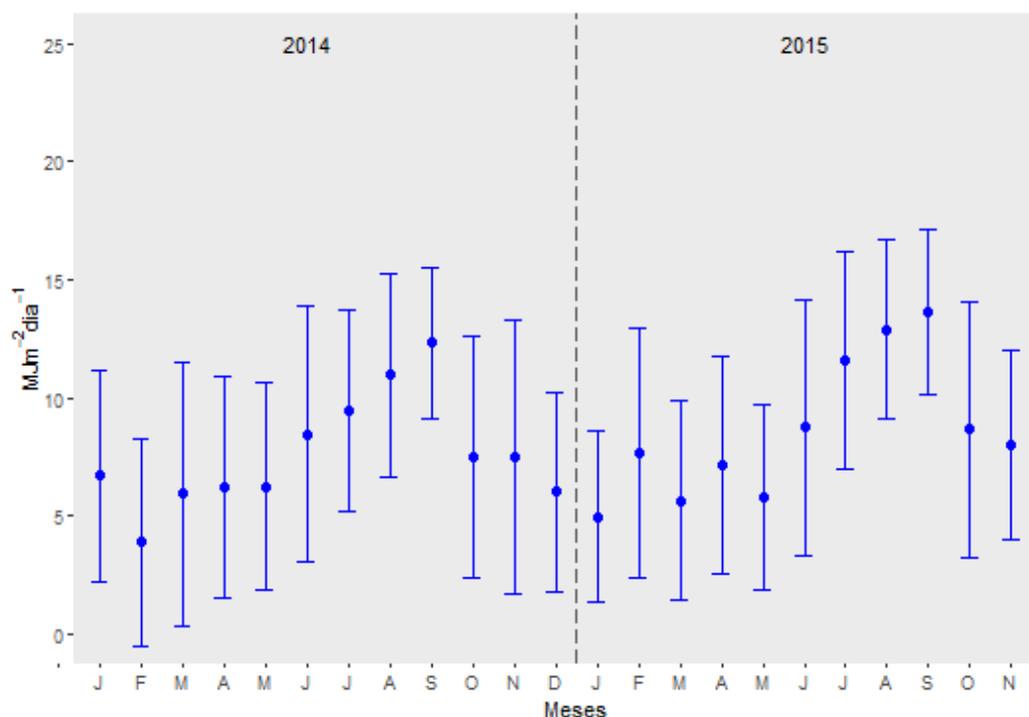
Yamasoe et al. (2006), para um estudo feito na Reserva do Jaru-RO, observaram significativa redução da irradiância PAR (*Photosynthetically Active Radiation*) no topo do dossel devido a camada de partículas de fumaça, afetando os fluxos turbulentos de calor sensível e latente. Como consequência, ocorreu o aumento da irradiância solar difusa devido ao espalhamento pelas partículas de aerossóis. Doughty et al. (2010) mostraram que partículas de aerossóis podem afetar o ecossistema diretamente através da alteração no espalhamento da luz solar, com o decaimento da irradiância solar à superfície e incremento da irradiância solar difusa. Cirino et al. (2014) examinaram os efeitos das mudanças no balanço de irradiância sobre áreas de floresta tropical devido presença de partículas de aerossol e nuvens nas porções sudoeste (Ji-Paraná-RO) e central (Manaus-AM) da Amazônia. Obtiveram que nuvens e aerossóis provenientes da queima de biomassa causam redução de até 35% na quantidade de irradiância total de PAR e também um aumento de até 50% na fração de irradiância PAR difusa, que é utilizada de forma mais eficiente pelo processo de fotossíntese da floresta. Rap et al. (2015) observaram que na presença de nuvens finas ou aerossol, a irradiância solar direta é reduzida devido ao espalhamento da luz solar, enquanto a irradiância solar difusa é incrementada.

Figura 4.7- Ciclo anual da integral diária (valor médio e desvio padrão associado) da irradiância solar difusa de Janeiro de 2014 a Novembro de 2015.



Os valores médios mensais da irradiância solar direta (Fig.4.8) apresentaram as maiores variabilidades das três componentes (tipicamente da ordem de 3,2 a 4,6 MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>) em todo o período. Os valores médios da irradiância solar direta variaram de 3 a 13 MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>, com os máximos no período seco e os mínimos no período chuvoso, devido a nebulosidade. Não hána revisão literatura, feita até o momento, valores referencias da integral diária da irradiância solar direta.

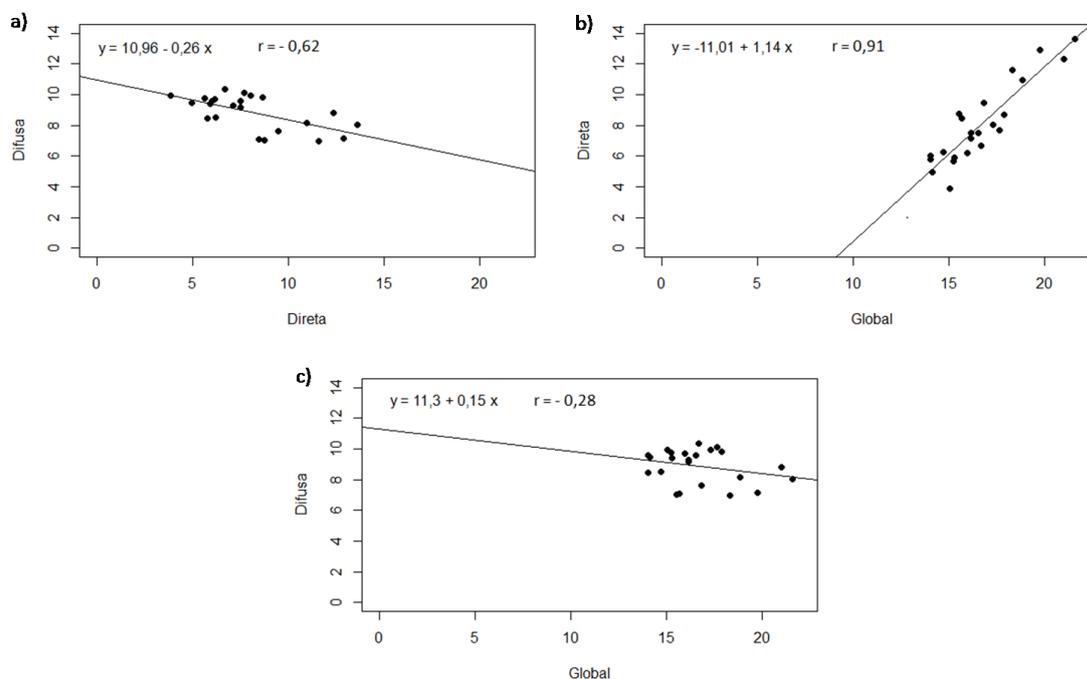
Figura 4.8- Ciclo anual da integral diária (valor médio e desvio padrão associado) da irradiância solar direta de Janeiro de 2014 a Novembro de 2015.



Dando continuidade às análises, as Figuras 4.9, 4.10 e 4.11 mostram as regressões lineares das componentes global, direta e difusa (em MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>) da irradiância solar. Observou-se que assim que a reta com maior declividade dos três modelos é apresentada no ajuste da irradiância solar direta em função da irradiância solar global (Figura 4.10). Os modelos que mostram a irradiância difusa em função da direta (Figura 4.9) e a difusa em função da global (Figura 4.11) ajustaram-se a uma reta decrescente pois as componentes são inversamente proporcionais.

Butt et al.(2010) obtiveram, através de um modelo de regressão linear, bom desempenho na previsão da radiação solar difusa em função da fração de cobertura de nuvens, com baixa representatividade no período seco alinhada à emissão de aerossóis na atmosfera.

Figura 4.9 - Regressão linear da radiação solar: a) Direta em função da Difusa, b) Global em função da Direta e c) Global em função da Difusa.



### 4.1.3 Ciclos da irradiância solar: Variação horária

#### 4.1.3.1 Irradiância solar global

Na sequência são apresentados os valores médios mensais horários do ciclo diário (de 12 horas) da irradiância solar global e seus desvios padrões (Figuras 4.12 e 4.13). Foram escolhidos um mês representativo da estação chuvosa (Fevereiro) e outro da estação seca (Setembro), nos dois anos de estudo (2014 e 2015). A amostra de dados utilizada foi superior a 90% na maior parte do período estudado e pode ser encontrada, para as irradiâncias global, difusa e direta, nas Tabelas dos apêndices B, C e D, respectivamente.

No mês de Fevereiro o valor médio máximo fica em torno de  $680 \text{ Wm}^{-2}$ , os desvios padrões máximos em torno de  $360 \text{ Wm}^{-2}$  e sendo que estes ocorreram entre 10 e 15 horas, que é o horário da máxima convecção.

Em Setembro, os valores médios são maiores, pois neste período a atmosfera tende a ter menos presença de nuvens, permitindo maior fluxo de irradiância solar global à superfície. Os valores médios máximos foram de  $860 \text{ Wm}^{-2}$  e os desvios padrões máximos foram de  $320 \text{ Wm}^{-2}$ . Observou-se que os horários de máximo desvio padrão no período chuvoso, se distribuíram, de maneira geral, homogeneamente, centrando-se entre às 10 e 15 horas. No período seco, os horários de aumento do desvio padrão ocorreram mais próximos do meio dia, o que ocorreu devido a máxima convecção no período seco ocorrer mais tarde.

Os valores médios mensais da irradiância solar global ao longo dos anos de 2014 e 2015 podem ser vistos na Tabela 4.1. Os valores mínimos estiveram aproximadamente entre  $300$  e  $400 \text{ Wm}^{-2}$  no período chuvoso e os máximos aproximadamente entre  $400$  e  $500 \text{ Wm}^{-2}$  no período seco. Os valores mínimos, referentes ao período chuvoso assemelham-se aqueles encontrados por Vila Nova et al. (1978) que encontraram, para Manaus, o valor médio de  $325 \text{ Wm}^{-2}$ , de Janeiro-Março (período chuvoso). Recentemente, Pavão et al. (2014) mostraram que, para uma área de floresta nativa em Humaitá-AM, os valores médios mensais de irradiância solar global medidos em meses chuvosos estão entre  $314$  e  $334 \text{ Wm}^{-2}$ . Os resultados obtidos em Setembro se assemelham àqueles encontrados por Villa Nova et al. (1978) que encontraram maiores valores médios diários da irradiância solar global entre  $513$  e  $541 \text{ Wm}^{-2}$  em Agosto-Setembro (período seco).

Figura 4.10 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Fevereiro de: (a) 2014 e (b) 2015.

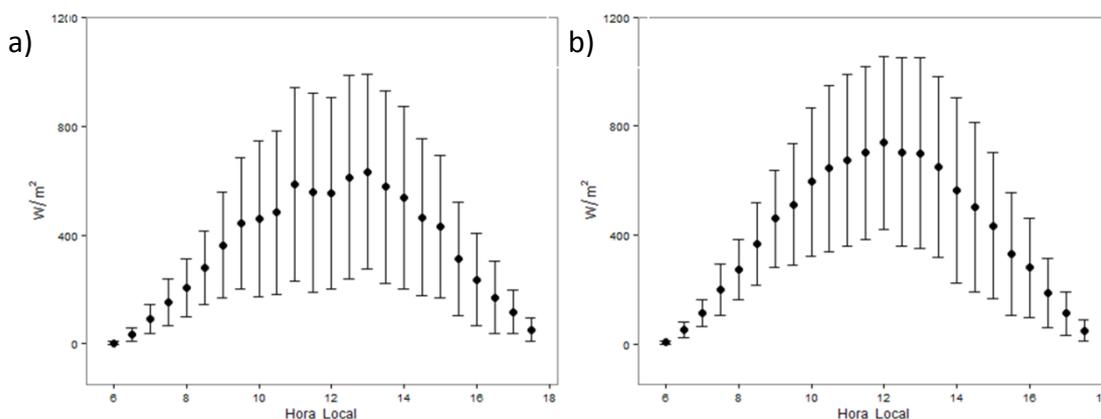
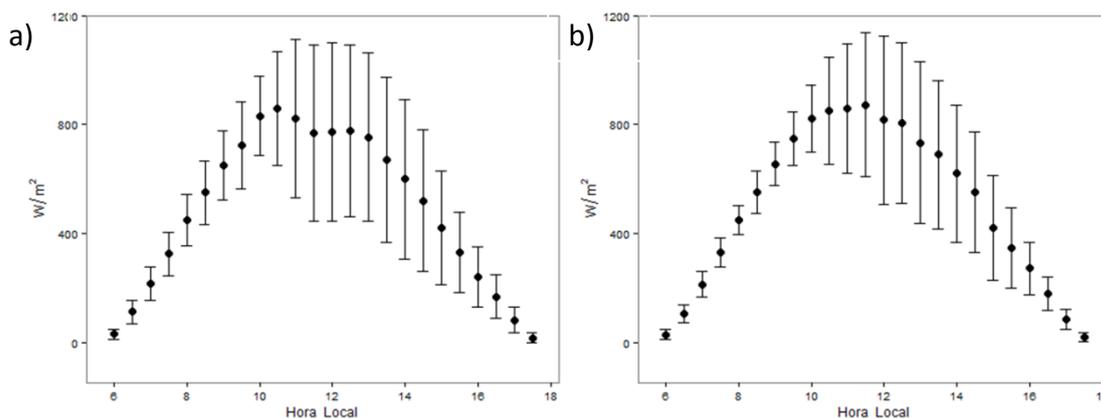


Figura 4.11- Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Setembro de: (a) 2014 e (b) 2015.



A fim de analisar se estas diferenças entre os valores médios mensais são diferentes entre si, foi elaborada a Tabela 4.1. Foi observado que as maiores diferenças (da ordem de  $60 \text{ Wm}^{-2}$ ) ocorreram entre os meses de Janeiro e Fevereiro, sendo a menor diferença no mês de Julho ( $4 \text{ Wm}^{-2}$ ). Os resultados da Tabela 4.1 mostram que, exceto para o mês de Janeiro, a diferença observada entre os anos de 2014 e 2015 não foi significativa a um nível de 5%. Isto pode ser justificado por Janeiro ter sido o mês que apresentou a maior diferença entre os ciclos diários médios da irradiância solar global. O ano de

2014 foi superior em aproximadamente  $190 \text{ Wm}^{-2}$ , ao se aproximar das 12 UTC,(podendo ser visualizado no Apêndice B, Figura B.2).

A integral diária média de Fevereiro, para esta componente (global), variou de  $16,6 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ , em 2014, para  $14,1 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  em 2015 (Figura 4.6). Complementarmente, notou-se que em Janeiro de 2015 choveu 42% a mais do que em Janeiro de 2014 (259,8 mm em 2014 e 448,7 mm em 2015). A análise visual da precipitação ao longo dos meses pode ser feita na Figura 4.3. Possivelmente além de ter ocorrido uma menor quantidade de chuva, houve também uma menor cobertura de nuvens em 2014 e isto pode ter permitido que os valores de fluxo de irradiância solar global tenham sido mais elevados (em torno de  $2,5 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ) em 2014.

Tabela 4.1 - Valores médios mensais da irradiância solar global e a significância estatística dos valores médios integrados. S (Significante), N (Não significativa).

	2014 (W/m <sup>2</sup> )	2015 (W/m <sup>2</sup> )	2014-2015 (W/m <sup>2</sup> )	Significância estatística
Janeiro	404	341	63	0,05 (S)
Fevereiro	363	420	-57	0,07 (N)
Março	369	360	9	0,96 (N)
Abril	385	390	-5	0,87 (N)
Mai	355	338	17	0,60 (N)
Junho	378	374	4	0,89 (N)
Julho	405	442	-37	0,07 (N)
Agosto	455	476	-21	0,32 (N)
Setembro	506	521	-15	0,32 (N)
Outubro	399	435	-36	0,32 (N)
Novembro	390	416	-26	0,45 (N)
Dezembro	348	---	---	--

#### 4.1.3.2 Irradiância solar difusa

As Figuras 4.14 e 4.15 mostram os valores médios e desvios padrões do mês de Fevereiro e Setembro de 2014 e 2015, respectivamente. Em Fevereiro (Figura 4.14), os máximos valores médios foram 445 Wm<sup>-2</sup> em 2014 e 392 Wm<sup>-2</sup> em 2015, sendo que em 2015 as médias foram superiores para praticamente todo o ciclo diário. Os valores máximos de desvio padrão ficaram em torno de 270 Wm<sup>-2</sup> em 2014 e 150 Wm<sup>-2</sup> em 2015. Denotando que houve menos nebulosidade em Fevereiro de 2015, o que tende a diminuir a fração difusa da irradiância solar.

Em Setembro (Figura 4.15), os valores médios máximos são menores que em Fevereiro. Pois neste período a atmosfera tende a ter menor presença de nuvens e céu mais claro, permitindo o maior fluxo de irradiância solar direta a superfície. Os valores máximos foram em torno de  $320 \text{ Wm}^{-2}$  e os desvios padrões máximos foram de  $100 \text{ Wm}^{-2}$ . Em Setembro a irradiância solar difusa média foi superior em 2014 para todo o ciclo diário (ver Figura C.3a no apêndice C) devido a possivelmente a seca que houve na região (pode ser visto na Figura 4.3).

Os valores médios mensais da irradiância solar difusa ao longo dos anos de 2014 e 2015 podem ser vistos na Tabela 4.2. Os valores mínimos estiveram aproximadamente entre  $170$  e  $210 \text{ Wm}^{-2}$  nos meses do período seco e os máximos próximos de  $200$  e  $270 \text{ Wm}^{-2}$  nos meses do período chuvoso.

As diferenças entre os valores médios mensais apresentadas na Tabela 4.2 mostram que a máxima diferença ocorreu em Fevereiro com  $27 \text{ Wm}^{-2}$ , sendo que a menor diferença ocorreu em Maio e Junho de  $1 \text{ Wm}^{-2}$ . Os testes estatísticos mostraram que somente no mês de Agosto as diferenças entre as integrais médias mensais podem não ser atribuídas ao acaso, ou seja, não são derivadas de flutuações comuns.

Figura 4.12 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Fevereiro de: (a) 2014 e (b) 2015.

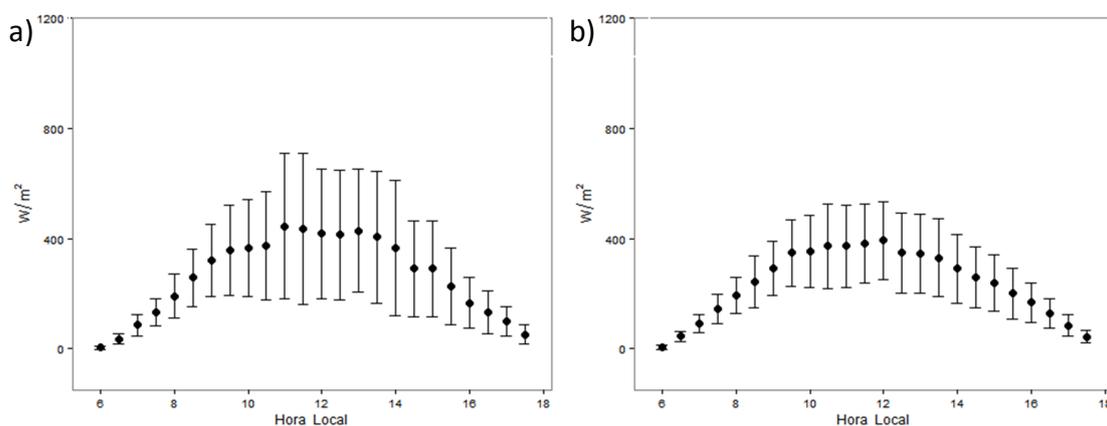


Figura 4.13 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Setembro de: (a) 2014 e (b) 2015.

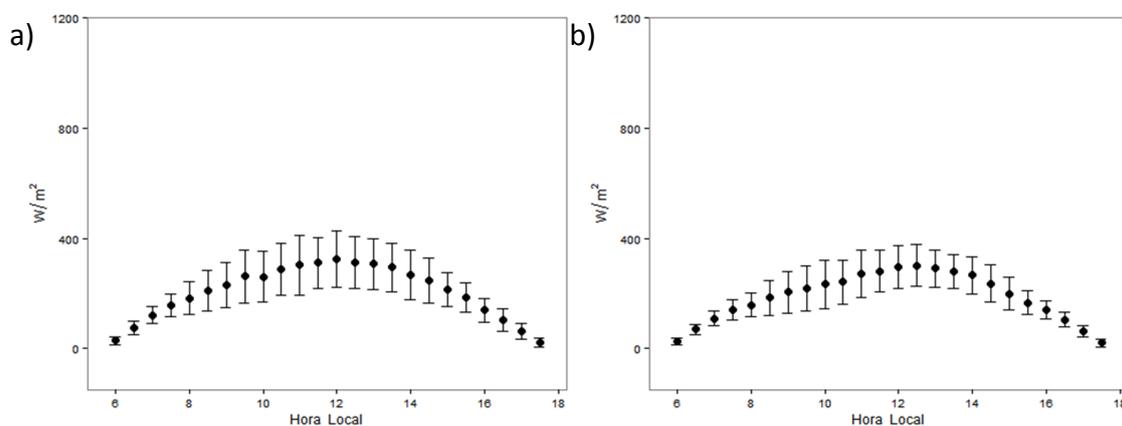


Tabela 4.2 - Valores médios mensais da irradiância solar difusa e a significância estatística dos valores médios integrados. S (Significante), N (Não significante).

	2014 (W/m <sup>2</sup> )	2015 (W/m <sup>2</sup> )	2014-2015 (W/m <sup>2</sup> )	Significância estatística
Janeiro	250	229	21	0,09 (N)
Fevereiro	273	246	27	0,13 (N)
Março	227	236	-9	0,56 (N)
Abril	234	224	10	0,40 (N)
Mai	205	204	1	0,96 (N)
Junho	171	170	1	0,89 (N)
Julho	184	168	16	0,13 (N)
Agosto	196	172	24	0,02 (S)
Setembro	212	194	18	0,08 (N)
Outubro	231	238	-7	0,63 (N)
Novembro	220	239	-19	0,2 (N)
Dezembro	221	---	---	--

### 4.1.3.3 Irradiância solar direta

As Figuras 4.16 e 4.17 mostram os valores médios e desvios padrões da irradiância solar direta do mês de Fevereiro e Setembro de 2014 e 2015, respectivamente. Em Fevereiro (Figura 4.16), os máximos valores médios foram  $199 \text{ Wm}^{-2}$  em 2014 e  $350 \text{ Wm}^{-2}$  em 2015, sendo que em 2015 as médias foram superiores em todo o ciclo diário (Figura D.2b, Apêndice D). Os valores máximos de desvio padrão ficaram em torno de  $309 \text{ Wm}^{-2}$  em 2014 e  $355 \text{ Wm}^{-2}$  em 2015.

Em Setembro (Figura 4.17), os valores médios máximos são maiores que em Fevereiro. Pois neste período a atmosfera tende a ter menos presenças de nuvens e céu mais claro, permitindo o maior fluxo de irradiância solar a superfície. Os valores máximos foram em torno de  $563 \text{ Wm}^{-2}$  em 2014 e  $604 \text{ Wm}^{-2}$  em 2015 e os desvios padrões máximos foram de  $329 \text{ Wm}^{-2}$  em 2014 e  $305 \text{ Wm}^{-2}$  em 2015. Em Setembro a irradiância solar direta média foi superior em 2014 para praticamente todo o ciclo diário (Figura D.3a, no anexo D) devido a possivelmente a seca que houve na região (pode ser visto na Figura 4.3).

As flutuações em torno do valor médio mensal horário foram mais elevadas que o próprio valor médio, em alguns horários. Este fato fez com que alguns valores parecessem negativos, como por exemplo nas Figuras 4.16 e 4.17, sem que haja significado físico para tal.

Figura 4.14 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Fevereiro de: (a) 2014 e (b) 2015.

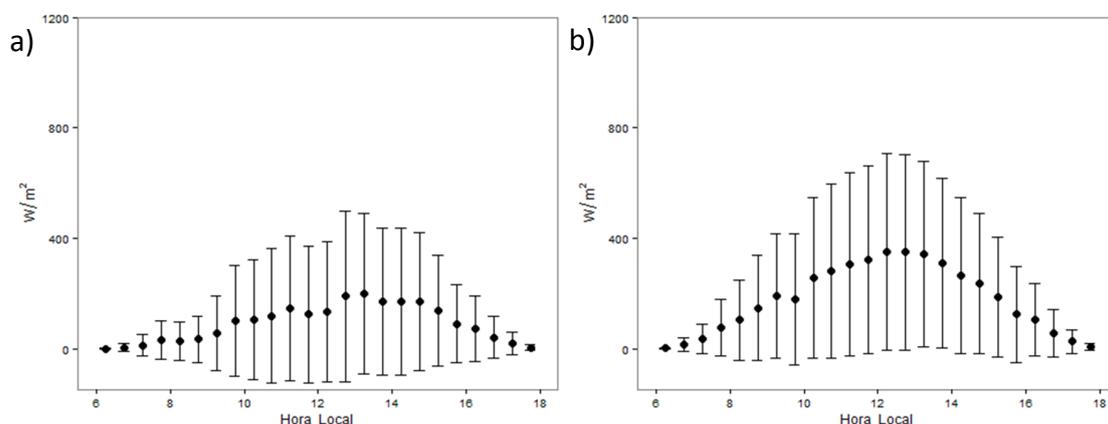
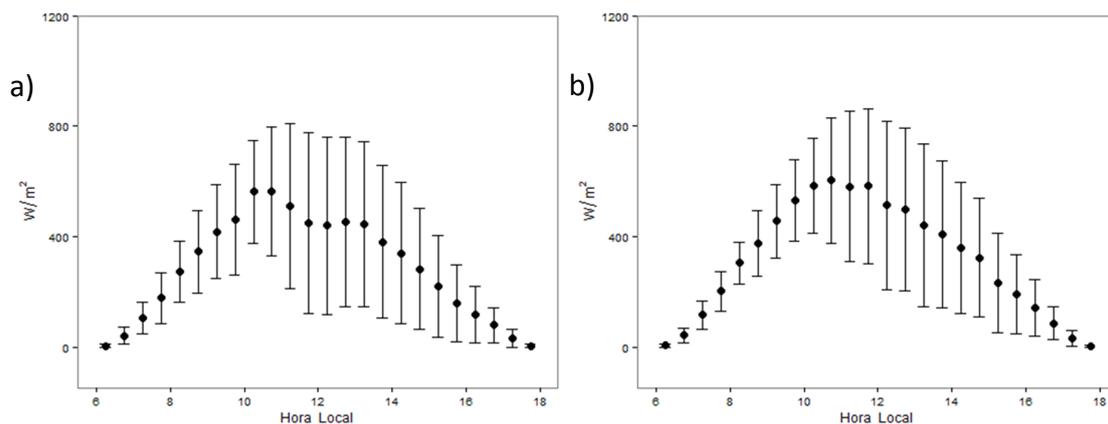


Figura 4.15 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Setembro de: (a) 2014 e (b) 2015.



A distribuição da irradiância solar direta média mensal ao longo do ano do período de estudo pode ser visto na Tabela 4.3. Observou-se que as os valores máximos ocorreram nos meses no período seco e estiveram aproximadamente entre 250 e 350  $Wm^{-2}$ . Nos meses considerados chuvosos a irradiância solar direta apresentou valores menores, entre 100 e 250  $Wm^{-2}$ .

Das diferenças entre os valores médios da irradiância solar direta, mostradas na Tabela 4.3, observou-se que a maior delas ocorreu no mês de Maio (100  $Wm^{-2}$ ) e a menor ocorreu em Março (7  $Wm^{-2}$ ). Os resultados (Tabela 4.3) mostram, exceto para o mês de Fevereiro, a diferença observada entre os anos

de 2014 e 2015 não foi significativos a um nível de 5%. Isto pode ser justificado por Fevereiro ter sido o mês que apresentou a maior diferença entre os ciclos diários médios da irradiância solar direta (podendo ser visualizado no Apêndice D, Figura D.2). O ano de 2015 foi superior em aproximadamente  $200 \text{ Wm}^{-2}$  ao meio dia.

A integral diária média de Fevereiro, para esta componente (direta), variou de  $3,87 \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , em 2014, para  $7,67 \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  em 2015 (Figura 4.8). Complementarmente, notou-se que em Fevereiro de 2015 choveu 35% a menos do que Fevereiro de 2014 (218,9 mm em 2014 contra 140,9 mm em 2015). A análise visual da precipitação ao longo dos meses pode ser feita na Figura 4.3. Possivelmente além da menor quantidade de chuva, houve também menor cobertura de nuvens e isto deve ter permitido o aumento dos valores de fluxo de irradiância solar direta.

Observou-se, para as componentes global e direta da irradiância solar que os valores de desvio padrão distribuem-se de maneira mais uniformes na estação chuvosa (Figura 4.12 e 4.16), em comparação ao período seco (Figura 4.13 e 4.17), quando os máximos de desvio padrão aumentaram a partir do final da manhã. Isto se deve à formação de nuvens ocorrer de maneira mais intensa, no período seco, a partir do final da manhã. Durieux et al. (2003) mostraram, para o estudo em uma área desflorestada da Amazônia, que, durante a estação seca, ocorre a presença de nuvens baixas a partir do início da tarde.

Machado et al. (2004), em um estudo sobre a convecção na Amazônia, mostraram que mudanças na circulação de larga escala ou na superfície, o que ocorre na estação seca e chuvosa, influenciam a convecção e fração de nuvens da região da floresta equatorial, o que acontece na estação seca e chuvosa.

Tabela 4.3- Valores médios mensais da irradiância solar direta e a significância estatística dos valores médios integrados. S (Significante), N (Não significativo).

Meses	2014 (W/m <sup>2</sup> )	2015 (W/m <sup>2</sup> )	2014-2015 (W/m <sup>2</sup> )	Significância estatística
Janeiro	155	115	40	0,16 (N)
Fevereiro	90	178	-88	0,01 (S)
Março	137	130	7	0,74 (N)
Abril	143	165	-22	0,35 (N)
Mai	144	244	-100	0,68 (N)
Junho	195	254	-59	0,84 (N)
Julho	219	310	-91	0,08 (N)
Agosto	253	353	-100	0,08 (N)
Setembro	285	315	-30	0,16 (N)
Outubro	173	200	-27	0,43 (N)
Novembro	174	185	-11	0,71 (N)
Dezembro	139	---	---	---

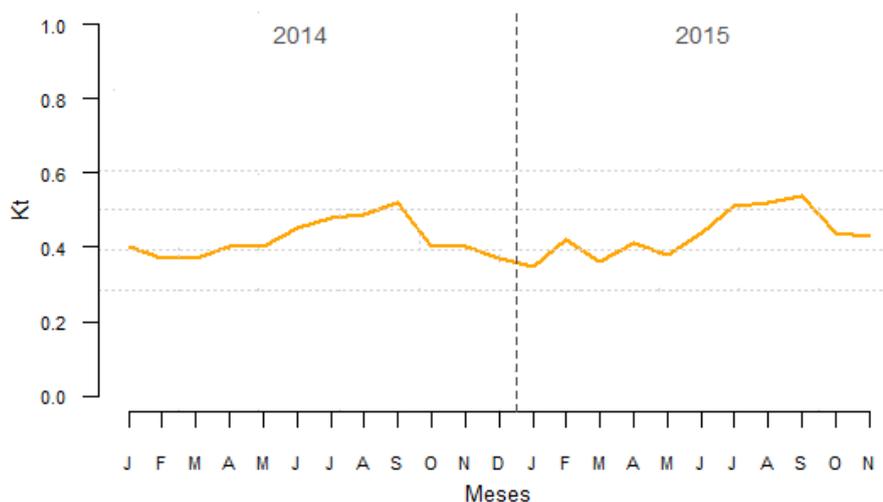
## 4.2 Transmissividade da atmosfera (Kt)

A Figura 4.18 mostra os valores médios mensais de Kt. Observou-se que os meses de valor de Kt mais elevados foram os do período seco, com valores em torno de 0,5, reduzindo em 20% para os meses considerados chuvosos. Estudos realizados anteriormente (na década de 70) para a cidade de Manaus estimaram um coeficiente de Kt de 0,8 em Julho em um dia de céu claro (Villa

Nova et al., 1976). Outro estudo obteve  $K_t$  de 0,66 durante a manhã e 0,75 durante a tarde, na estação seca (Almeida et al., 1979).

Esta diferença, entre o que foi obtido no presente trabalho e encontrado na bibliografia, pode ser justificada pelo fato da amostra de dados ser diferente. Aqui o  $K_t$  foi obtido a partir de médias mensais onde se considerou todas as condições de céu do mês. Nos trabalhos citados acima, a amostra baseou-se em um dia específico, além das metodologias utilizadas serem diferentes, a saber: Villa Nova et al. (1976) utilizaram-se uma generalização da lei de Bouger-Lambert e Almeida et al. (1979) consideraram o  $K_t$  total de quatro faixas espectrais entre 270 e 2500nm. Em um estudo feito para Humaitá-AM, com a mesma metodologia utilizada no presente estudo, Martins et al. (2014) observaram que o valor médio diário do  $K_t$  para o período chuvoso foi em torno de 0,5 (de Janeiro a Abril), aumentando este valor para 0,6 nos meses de seca (Julho, Agosto e Setembro).

Figura 4.16- Ciclo sazonal do coeficiente  $K_t$  médio mensal.

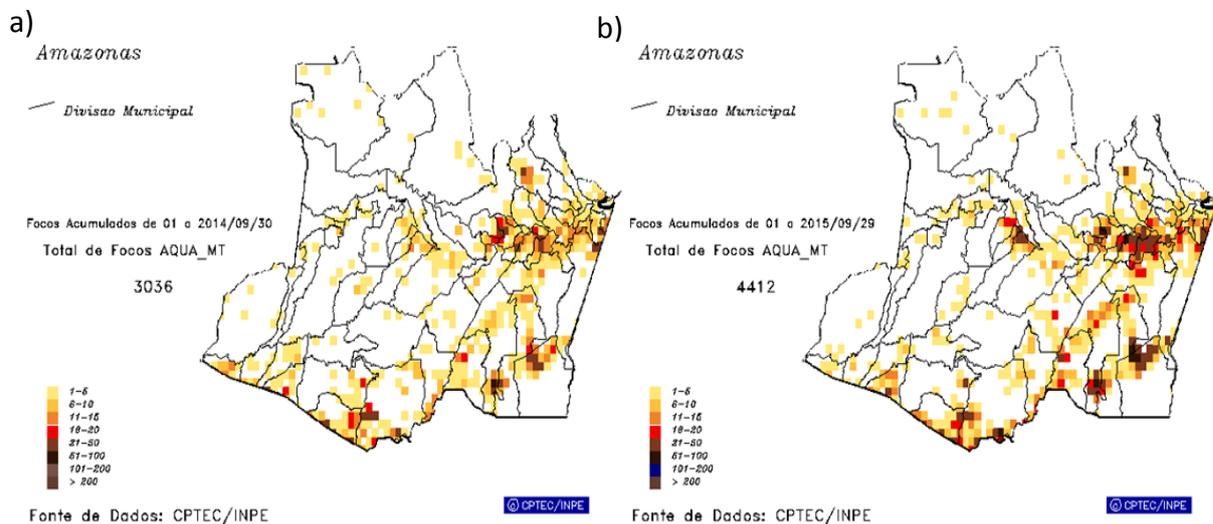


### **4.3 Queimadas e Aerossóis**

No ano de 2015, a região de Manaus sofreu bastante com a seca, o que pode ser visto no Apêndice F. No período de Agosto a Novembro, as queimadas tornaram a região extremamente poluída, impedindo e atrapalhando as atividades comuns da população. No Apêndice F são apresentadas algumas reportagens sobre os transtornos causados pela redução de visibilidade devido as queimadas.

Na Figura 4.19 podem ser vistos o número do total de queimadas que foram identificadas no estado do Amazonas, para o mês de setembro nos anos de 2014 e 2015. Observou-se que na região de estudo, Manacapuru, próxima a parte central do Amazonas, o mês de maior número de focos, foi Setembro em ambos os anos, sendo que em 2014 a quantidade máxima foi de 50 focos e em 2015 esta quantidade pode ter chegado a 100 focos.

Figura 4.17- Número de focos de queimadas no estado do Amazonas do mês de setembro nos anos de 2014 e 2015.



Fonte: [www.inpe.br/queimadas](http://www.inpe.br/queimadas)

A Tabela 4.4 mostra as informações de número de focos de queimada para o estado do Amazonas. Nela, pode ser observado que o ano de 2015 teve mais focos de queimada comparados na maioria dos meses de 2014, especialmente nos meses considerados secos. O máximo de focos de queimada foi de 5882 em Setembro de 2015, sendo este valor 92% superior relativo ao ano de 2014, que teve 3057 focos identificados.

Tabela 4.4 - Número de focos de queimadas em 2014 e 2015.

Meses	2014	2015	2015-2014	%
Janeiro	46	35	-11	-24
Fevereiro	49	107	58	118
Março	50	46	-4	-8
Abril	25	24	-1	-4
Maio	12	10	-2	-17
Julho	74	33	-41	-55
Julho	202	356	154	76
Agosto	3852	4564	712	18
Setembro	3057	5882	2825	92
Outubro	952	2494	1542	162
Novembro	676	1054	378	56
Dezembro	293	565	272	93
Total	9288	15170	5882	63

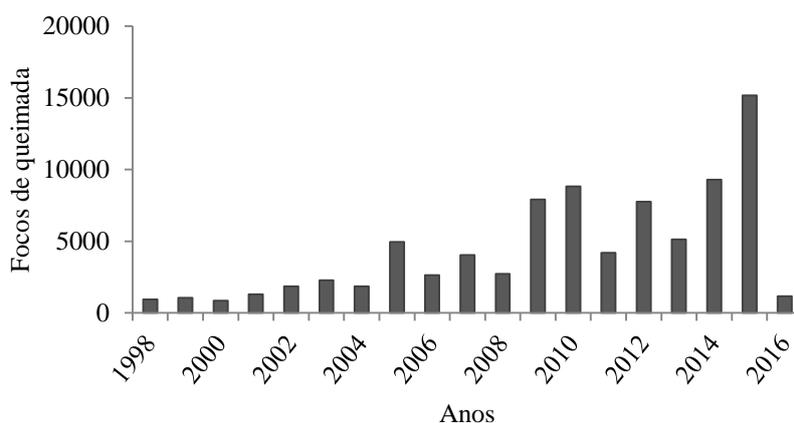
Fonte: adaptada de: [www.inpe.br/queimadas](http://www.inpe.br/queimadas)

A Figura 4.20 mostra a série temporal da evolução dos focos de queimadas entre os anos de 1998 até 2016. Observa-se que, ao longo deste período, os anos de 2014 e 2015 foram os que tiveram o maior número de focos de queimada. Sendo, inclusive, 63% maior do que fora observado no ano de 2014. Dando sequência a estas análises, a Figura 4.21 mostra a média mensal do AOD de Janeiro de 2014 a Novembro de 2015. Em Abril de 2014 não há informação porque os valores não foram considerados confiáveis. O AOD é um indicativo da quantidade e da eficiência de extinção de irradiância solar pela matéria opticamente ativa em um dado comprimento de onda. O estudo da profundidade óptica dos aerossóis para o comprimento de onda de 500nm

contribuiu para a análise da influência dos aerossóis nas componentes do balanço de radiação.

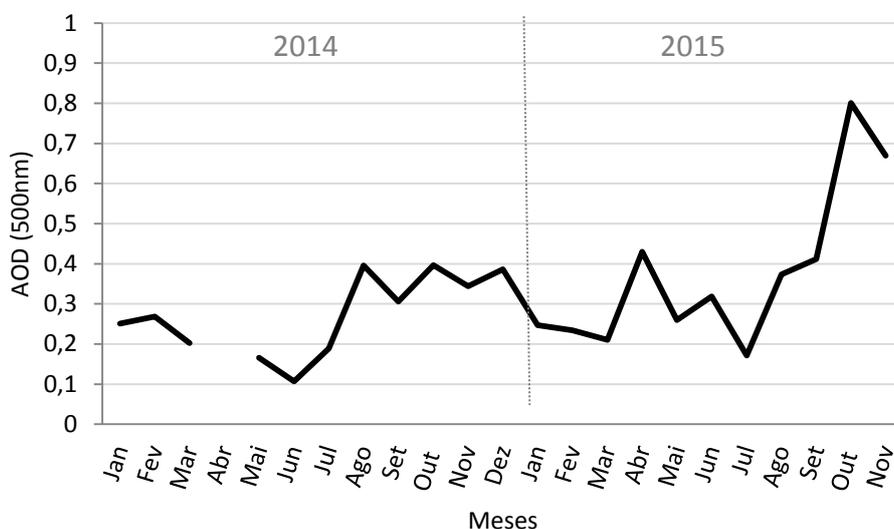
Observou-se que no mês de Outubro (estação seca) de 2015 o valor do AOD foi maior do que em 2014, apresentando um valor médio de 0,8 contra 0,4, respectivamente. Este resultado está dentro dos limites estabelecidos por Artaxo et al. (2013), que encontrou para o sítio TT34 (100 km a nordeste do sítio T3), com dados do AERONET, valores de AOD (500 nm) variando de 0,1 a 1,2. Cirino et al. (2014) mostraram que para Balbina (280km a nordeste do sítio T3), através de medições com o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo dos satélites Terra e Aqua, que na estação chuvosa os valores de AOD (500nm) eram em torno de 0,1 e aumentam na estação seca, com o transporte a longa distância de emissões de aerossóis, para valores de cerca de 1,5, salientando que os dados do MODIS tendem a superestimar em 5-10% os dados da AERONET. Para a região arco do desmatamento na Amazônia, Paixão (2011) mostrou que o AOD aumenta de um valor de 0,1 a 0,2 durante a estação chuvosa, para valores médios diários entre 2,5 a 3,5 na estação seca.

Figura 4.18- Série histórica do número total de focos de queimadas detectados no estado do Amazonas.



Fonte adaptada de: [www.inpe.br/queimadas](http://www.inpe.br/queimadas)

Figura 4.19 - Série temporal dos valores médios AOD entre Janeiro de 2014 a Novembro de 2015.

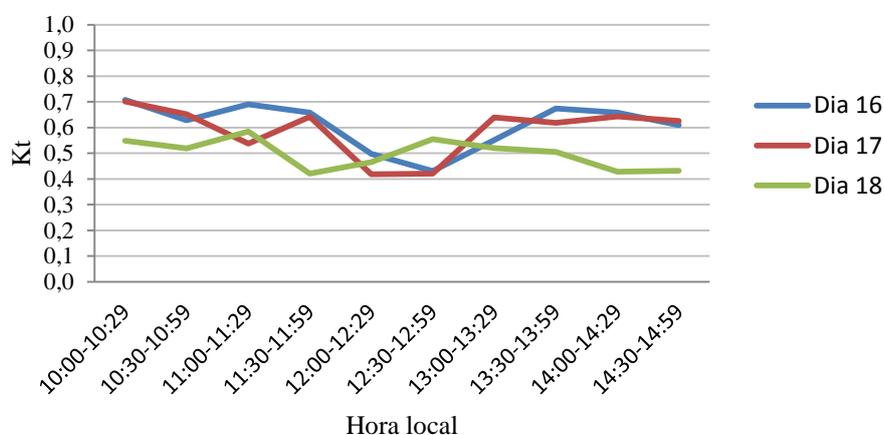


Como comentado acima, as notícias mais alarmantes sobre as queimadas ocorreram de Setembro e início do mês de Outubro de 2015. O Kt médio mensal (Figura 4.18), no sítio T3, não diminuiu devido à poluição registrada na região de Manaus.

Na intenção de verificar se o coeficiente Kt captou esse acontecimento, escolheu-se uma notícia do jornal A Crítica ([http://acritica.uol.com.br/manaus/ASAS\\_0\\_1451854803.html](http://acritica.uol.com.br/manaus/ASAS_0_1451854803.html)) onde foi mostrado que nos dias 16, 17 e 18 de Outubro de 2015, a região de Manacapuru somou 149 focos de queimadas, identificados pelo INPE.

A Figura 4.22 mostra o valor de Kt destes três dias. Observou-se que o Kt esteve entre 0,6 e 0,7 na maior parte do tempo dos dias 16 e 17 de Outubro. O dia 18 foi o quando o Kt sofreu maior redução, sendo que seus valores máximos estiveram entre 0,5 e 0,6.

Figura 4.20 - Valor de Kt dos dias 16, 17 e 18 de Outubro de 2015, entre 10 e 15 horas.



Continuando a análise, a Figura 4.23 mostra todos os dados de AOD (500nm) do mês Outubro de 2015. Observou-se que o AOD esteve maior especialmente no dia 18 de Outubro, no mesmo dia em que o valor de Kt esteve mais baixo (Figura 4.22). Também neste dia, o ciclo diário (Figura 4.25c) teve um aumento da irradiância solar difusa e uma diminuição da direta, além da irradiância solar global estar mais baixa. Os valores integrais diários da irradiância solar estão na Tabela 4.5, onde é possível notar que do dia 17 para 18, a irradiância solar global diminuiu na ordem de  $0,8 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  e a irradiância solar difusa aumentou na ordem de  $2,1 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ , devido ao maior espalhamento da irradiância solar.

Complementarmente, na Figura 4.24, é apresetada a precipitação diária do mês de Outubro de 2015. É possível observar que nos dias 16, 17 e 18 não houve registro de precipitação.

Figura 4.21- AOD do mês de Outubro de 2015.

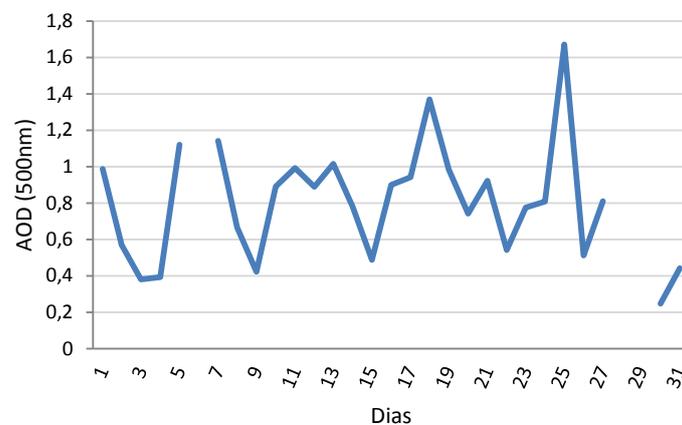


Figura 4.22 - Precipitação diária de mês de Outubro de 2015.

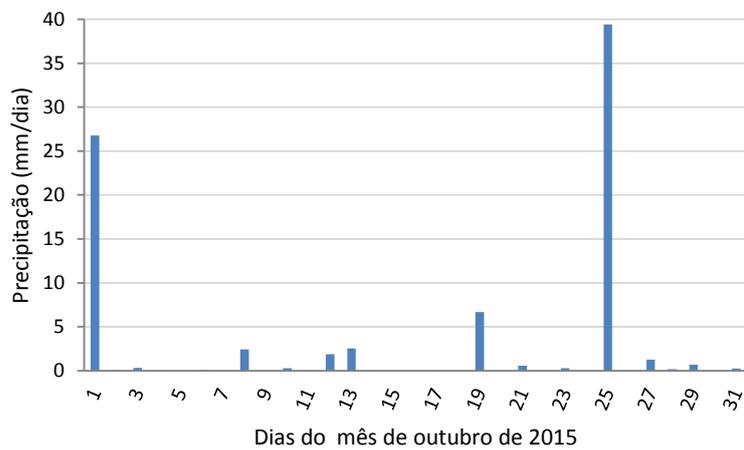


Figura 4.23 - Ciclo diário da irradiância solar TOA, global, direta e difusa nos dias: (a)16, (b) 17 e (c) 18 de Outubro de 2015.

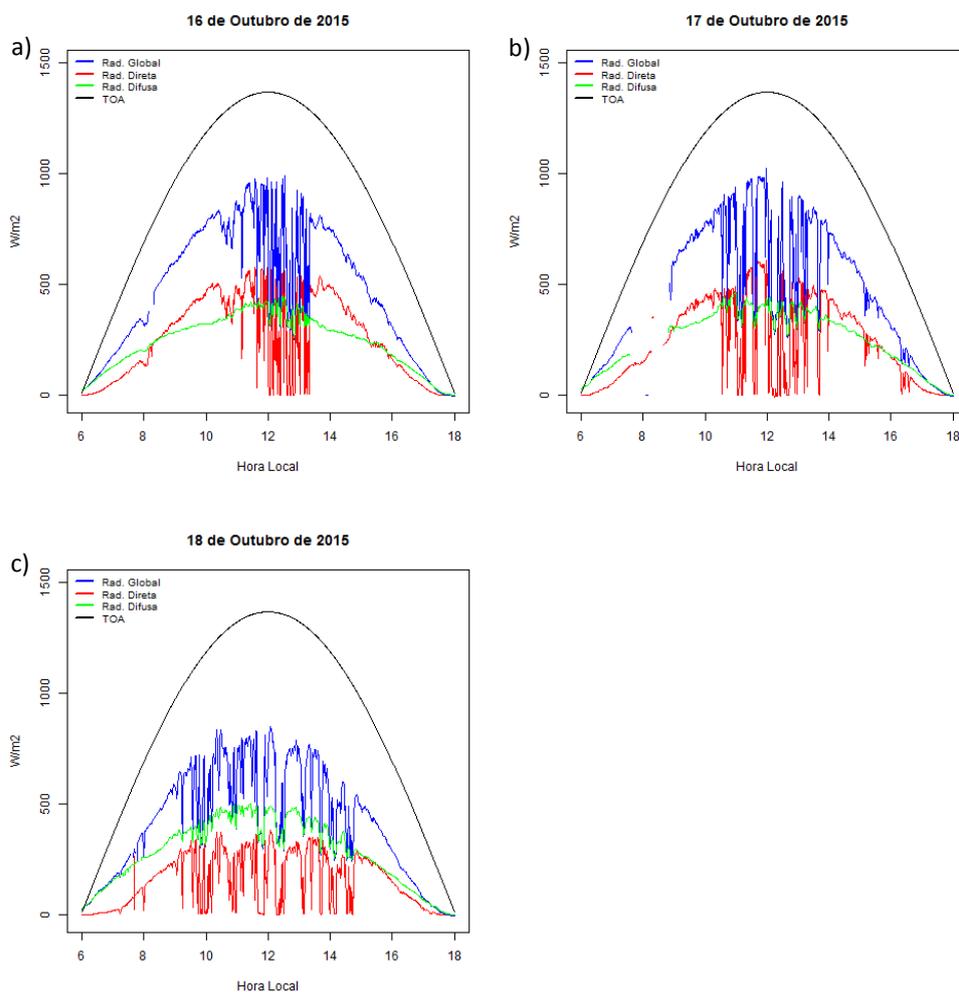


Tabela 4.5 - Valores integrados diários da solar global direta e difusa nos dias 16, 17 e 18 de Outubro de 2015.

Dia	Irrad. Global (MJm <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	Irrad. Difusa (MJm <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	Irrad. Direta (MJm <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )
16	20,4	10,4	10,4
17	18,3	9,9	9,3
18	17,6	12,0	6,1

## **4.4 Variabilidade espacial**

Nesta seção serão apresentadas a variabilidade espacial da irradiância solar global, analisando os dados coletados em três sítios nas proximidades da cidade de Manaus (AM), referentes aos períodos chuvoso (IOP1) e seco (IOP2) do experimento GOAmazon 2014/15. Cada um dos IOPs compreendeu um intervalo de tempo de 50 dias.

### **4.4.1 Variabilidade espacial**

As Figuras 4.26 e 4.27 mostram as precipitações diárias ao longo do IOP1 e IOP2, respectivamente. No IOP1 (Figura 4.26), observou-se que a precipitação diária na maior parte do período (1 de Fevereiro a 5 de Março) não superou o valor acumulado de 40 mm. O sítio UEA (área urbana) teve os maiores acumulados de chuva, ocorridos nos dias 7 e 8 de Março, totalizando 92 mm. Também em 8 de Março, o sítio da EMBRAPA (área semi-rural) apresentou seu maior acumulado: 75 mm. Comparados a EMBRAPA, que foi o que mais acumulou chuva no período, os totais dos sítios UEA e T3 foram 14% e 17% menores, respectivamente.

No IOP2 (Figura 4.27) observou-se uma menor quantidade de chuva, o que é característico da estação seca da região. A diferença da precipitação, nos três sítios e comparado ao IOP1, foi 77% menor. Além disso, os eventos não ultrapassaram o acumulado diário de 30 mm. O sítio que apresentou a maior precipitação acumulada no período também foi a EMBRAPA, com 196 mm. Comparados a esta localidade, os sítios UEA e T3 tiveram totais acumulados 81% e 22% menores, respectivamente.

Observa-se que as diferenças (percentuais) nas precipitações entre os sítios foram maiores no IOP2. O sítio UEA foi o que menos acumulou precipitação nos dois IOPs.

Figura 4.24 - Precipitação diária nos sítios T3, UEA e EMBRAPA durante o IOP1.

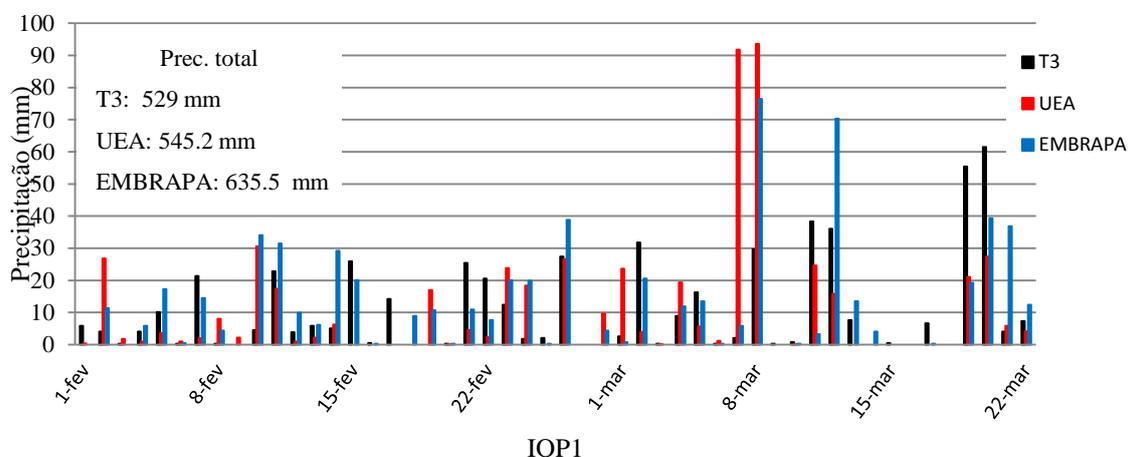
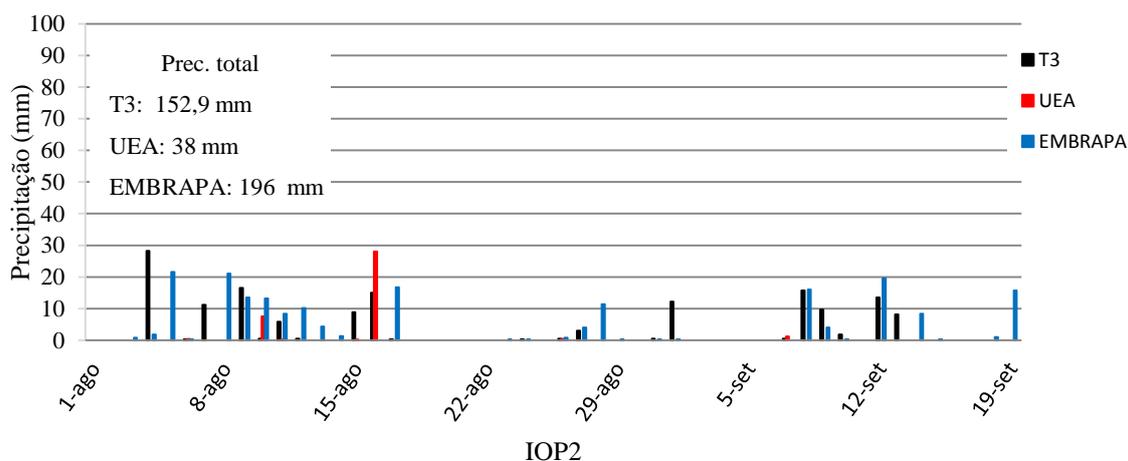


Figura 4.25 - Precipitação diária nos sítios T3, UEA e EMBRAPA durante o IOP2.



Na variabilidade espacial da cobertura de nuvens (Tabela 4.6 e Tabela 4.7) observou-se que a fração de nuvens no IOP1 (período chuvoso) (Tabela 4.6) foi superior comparado ao IOP2 (período seco) (Tabela 4.7), o que era esperado, tendo em vista a maior atividade convectiva. A cobertura de nuvens observada na Base Aérea de Ponta Pelada foi a mais elevada nos dois IOPs. De modo geral, isto pode ser explicado, devido a Base Aérea da Ponta Pelada estar situada na margem do Rio Negro. Das diferenças entre as médias,

observou-se que as menores ocorram entre a Base Aérea de Ponta Pelada e o Aeroporto Eduardo Gomes, para os dois IOPs (Tabela 4.7). É importante ressaltar que as medidas em T3 foram feitas por um instrumento (TSI) e as da Base Aérea de Ponta Pelada e do Aeroporto Eduardo Gomes por observadores (observação visual) da Força Aérea Brasileira (FAB).

O teste de significância estatística, pelo método de T-Student, contudo, mostrou que os valores médios de fração de nuvem entre os sítios foram estatisticamente diferentes entre si, nos dois IOPs.

Tabela 4.6 – Média e desvio padrão da média de cobertura de nuvens no IOP1 e IOP2, dos sítios: PP (Ponta Pelada), EG (Eduardo Gomes), T3 (sítio T3).

Hora Local	IOP1			IOP2		
	EG (%)	PP (%)	T3 (%)	EG (%)	PP (%)	T3 (%)
6	76±18	81±12	18±32	53±22	60±18	19±24
7	77±18	80±16	31±39	51±27	62±18	24±33
8	78±20	82±15	35±40	62±21	64±19	26±34
9	78±20	80±17	38±41	50±23	63±21	28±36
10	76±17	81±14	41±43	42±20	58±24	31±38
11	76±17	77±16	40±42	44±19	57±20	36±41
12	77±14	80±13	41±41	49±21	59±19	37±41
13	78±14	80±12	40±42	51±16	57±19	37±40
14	77±14	80±12	38±40	53±16	58±19	36±40
15	73±17	78±14	37±41	53±20	56±21	32±39
16	71±18	80±12	33±38	51±20	57±23	27±37
17	73±18	78±14	24±37	50±23	57±25	21±35
18	68±22	78±14	21±39	46±26	57±27	20±34

Tabela 4.7 – Diferenças entre os valores médios de percentagem de fração de nuvens, dos sítios: PP (Ponta Pelada), EG (Eduardo Gomes), T3 (sítio T3).

Hora Local	IOP1			IOP2		
	PP-EG	PP-T3	EG-T3	PP-EG	PP-T3	EG-T3
6	5	63	58	7	41	33
7	3	49	46	11	38	27
8	3	46	43	2	37	36
9	2	42	40	13	35	22
10	5	40	35	16	27	11
11	1	37	36	13	20	8
12	3	39	36	10	22	12
13	2	40	37	6	21	14
14	4	42	38	4	22	17
15	5	41	36	3	24	21
16	9	47	38	6	30	24
17	5	54	49	7	35	28
18	11	57	46	11	57	46

#### 4.4.2 Irradiância solar global

A Figura 4.28 mostra o comportamento da irradiância solar global ao longo do ciclo diário nos três sítios estudados (T3, EMBRAPA e UEA), para o IOP1 (Figura 4.28a) e IOP2 (Figura 4.28b). Nota-se que os valores médios observados no IOP1 foram inferiores ao IOP2. Isto é justificado pelo fato de o IOP1 ser representativo da estação chuvosa, onde há mais nebulosidade

atuando fortemente na atenuação do fluxo de irradiância solar (Cirino et al., 2014). No IOP2, representativo da estação seca, as nuvens são mais esparsas e isoladas, permitindo que maior quantidade de irradiância solar incida à superfície. Este fato pode ser confirmado ao observar-se a distribuição de chuvas nos IOPs (Figuras 4.26 e 4.27).

Observou-se que durante o IOP1 (Figura 4.28a), o valor médio da irradiância solar global no sítio da UEA (considerado como representativo das condições urbanas) foi inferior aos outros dois sítios (EMBRAPA e T3). É importante ressaltar que o sítio UEA teve uma taxa amostral de 1 dado para cada 5 minutos, sendo que os demais sítios (T3 e EMBRAPA) tiveram uma taxa amostral de 1 dado por minuto, ou seja o valor médio de cada intervalo de 30 minutos da UEA foi feita com uma amostra de 300 dados (50 dias X 6 amostras), contra 1500 dados (50 dias X 30 amostras) dos sítios T3 e EMBRAPA.

No IOP1, os valores médios da irradiância solar foram  $347 \text{ Wm}^{-2}$  no T3,  $300 \text{ Wm}^{-2}$  na EMBRAPA e  $267 \text{ Wm}^{-2}$  no UEA. Os valores médios horários típicos para cada sítio estão na Tabela 4.8 e, entre 10 e 15 horas, estiveram entre 290 e  $460 \text{ Wm}^{-2}$  na UEA, entre 460 e  $580 \text{ Wm}^{-2}$  no T3 e entre 450 e  $600 \text{ Wm}^{-2}$  na EMBRAPA. Comparando-se o sítio que teve a menor irradiância solar global com os demais, o sítio T3 apresentou, para todo o ciclo diário, valores médios 23% maiores do que a UEA e que sítio EMBRAPA teve valores médios 19% maiores que a UEA.

As máximas diferenças da irradiância solar global da UEA comparadas ao T3 foram de  $150 \text{ Wm}^{-2}$  e ocorreram às 14 horas. Similarmente, a máxima diferença entre EMBRAPA e UEA foi de  $158 \text{ Wm}^{-2}$  às 12 horas. Os valores médios da irradiância solar nos sítios T3 e EMBRAPA estiverem próximos entre si ao longo de todo o ciclo diário, sendo que as diferenças máximas observadas foram de  $60 \text{ Wm}^{-2}$  às 11 horas.

Os menores desvios padrões, assim como os valores médios, também foram observados na UEA (Tabela 4.8), sendo que os valores mínimos foram observados no início e fim do dia. Os valores típicos de desvio padrão, entre 10

e 15 horas, foram na UEA de 220 a 315  $\text{Wm}^{-2}$ , no T3 de 290 a 380  $\text{Wm}^{-2}$  e na EMBRAPA de 280 a 360  $\text{Wm}^{-2}$ . O sítio T3 teve, para todo o ciclo diário, desvios padrões 15% maiores do que a UEA e 13% maiores que o sítio EMBRAPA.

No IOP2 (Figura 4.28b), a variabilidade espacial teve comportamento diferente daquele apresentado no IOP1 (Figura 4.28a). As diferenças entre os sítios T3 e EMBRAPA foram maiores quando comparadas ao IOP1. Assim como no IOP1, o sítio T3 teve os maiores valores médios ao longo de todo o ciclo diário e o sítio UEA os menores valores. Os valores médios típicos da irradiância solar foram 220  $\text{Wm}^{-2}$  no T3, 213  $\text{Wm}^{-2}$  na EMBRAPA e 175  $\text{Wm}^{-2}$  no UEA. Os valores típicos, entre 10 e 15 horas estiveram entre 200 e 307  $\text{Wm}^{-2}$  na UEA, entre 430 e 730  $\text{Wm}^{-2}$  na EMBRAPA e entre 490 e 815  $\text{Wm}^{-2}$  no T3. O sítio T3 teve, para todo o ciclo diário, médias 19% maiores que a UEA, 8% maiores que a EMBRAPA. Os valores típicos de desvio padrão, entre 10 e 15 horas, foram na UEA em torno de 200 a 260  $\text{Wm}^{-2}$ , no T3 de 200 a 340  $\text{Wm}^{-2}$  e na EMBRAPA de 190 a 305  $\text{Wm}^{-2}$ . O sítio T3 teve, para todo o ciclo diário, desvios padrões 7% maiores que a UEA, e 12% maiores que a EMBRAPA. Ainda sobre os desvios padrões, notou-se que no IOP2 as variabilidades de começo de dia são menores do que aquelas do final de dia (Figura 4.29b, Figura 4.30b, Figura 4.31b), uma vez que os dias amanhecem com céu limpo (pouca cobertura de nuvens), aumentando a convecção (e conseqüentemente nuvens) ao longo do dia. Observou-se nos três sítios que as variabilidades durante o IOP2 foram menores comparadas ao IOP1, especialmente entre 8 e 12 horas.

Figura 4.26 - Ciclo diário da irradiância solar global média durante: a) IOP1 e b) IOP2.

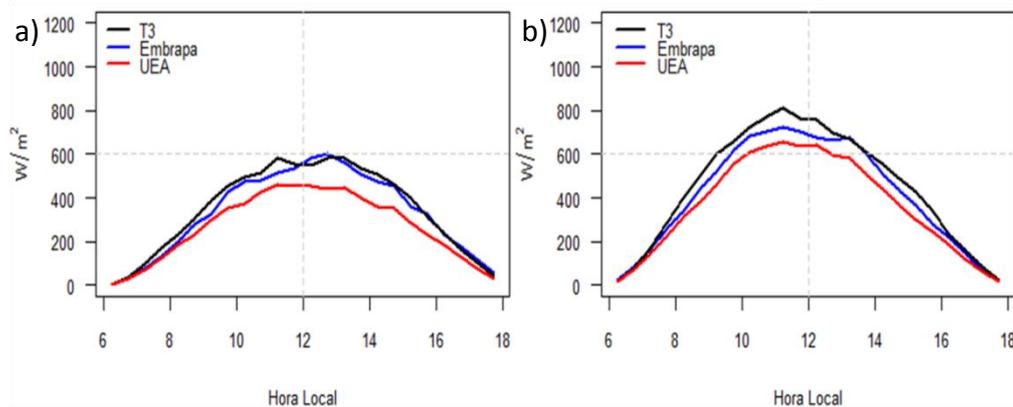


Tabela 4.8 – Média e desvio padrão da irradiância solar global dos sítios:T3, EMBRAPA e UEA.

Hora Local	IOP1			IOP2		
	T3 (W/m <sup>2</sup> )	EMBRAPA (W/m <sup>2</sup> )	UEA (W/m <sup>2</sup> )	T3 (W/m <sup>2</sup> )	EMBRAPA (W/m <sup>2</sup> )	UEA (W/m <sup>2</sup> )
06:00-6:29	4±8	2±4	5±5	15±15	23±18	16±14
06:30-7:59	39±31	27±22	29±26	80±38	81±34	71±32
7:00-7:29	99±66	75±50	74±54	174±57	167±55	145±49
7:30-7:59	169±105	136±84	124±89	288±77	258±85	228±70
8:00-8:29	232±139	201±128	185±125	404±94	337±114	311±97
8:30-9:59	303±172	277±174	232±136	502±120	444±130	379±121
9:00-9:29	385±219	325±187	300±188	599±137	525±155	461±138
9:30-9:59	452±245	426±250	350±222	660±172	618±170	554±160
10:00-10:29	496±293	477±284	375±234	727±207	682±191	612±200
10:30-10:59	513±317	484±311	428±296	768±251	707±224	636±257
11:00-11:29	584±362	515±338	460±308	814±268	726±254	655±282
11:30-11:59	557±382	533±340	453±312	767±313	706±290	634±308
12:00-12:29	547±365	581±366	454±302	756±326	677±315	644±306

(Continuação)

Tabela 4.8 – Conclusão

12:30-12:59	586±381	599±358	441±314	695±344	664±306	598±303
13:00-13:29	581±363	559±367	449±275	673±333	675±288	583±286
13:30-13:59	538±340	504±352	398±251	610±313	601±281	506±274
14:00-14:29	511±327	471±307	360±238	554±298	508±283	439±215
14:30-14:59	460±292	453±296	354±223	489±252	433±251	368±196
15:00-15:29	403±258	358±234	287±175	428±204	366±212	299±169
15:30-15:59	315±207	321±228	230±148	337±165	280±177	246±143
16:00-16:29	237±163	231±165	188±123	234±122	221±131	187±111
16:30-16:59	168±125	178±129	132±82	158±83	147±92	116±74
17:00-17:29	105±76	119±83	74±49	85±44	72±49	64±41
17:30-17:59	44±39	61±44	31±20	22±19	16±16	19±17

Tabela 4.9 – Diferenças entre os valores médios da irradiância global das três localidades: T (T3), E (Embrapa), U (UEA).

Hora Local	IOP1			IOP2		
	T-U (W/m <sup>2</sup> )	E-U (W/m <sup>2</sup> )	T-E (W/m <sup>2</sup> )	T-U (W/m <sup>2</sup> )	E-U (W/m <sup>2</sup> )	T-E (W/m <sup>2</sup> )
06:00-6:29	-1	-2	2	-1	7	-8
06:30-7:59	10	-2	12	9	10	-1
7:00-7:29	25	1	24	30	22	7
7:30-7:59	45	12	33	61	31	30
8:00-8:29	47	16	31	93	26	66
8:30-9:59	71	45	26	123	65	58
9:00-9:29	86	25	61	139	65	74
9:30-9:59	101	76	26	106	64	42
10:00-10:29	121	103	19	115	70	45
10:30-10:59	85	56	29	132	71	61
11:00-11:29	124	55	69	158	71	87
11:30-11:59	104	80	24	133	73	61
12:00-12:29	93	127	-34	112	33	80
12:30-12:59	145	158	-13	97	66	31
13:00-13:29	132	110	22	90	92	-2
13:30-13:59	139	106	33	104	95	9
14:00-14:29	150	111	39	115	69	46
14:30-14:59	105	99	7	121	65	56
15:00-15:29	116	72	44	129	67	63
15:30-15:59	85	91	-6	91	34	57
16:00-16:29	49	43	6	47	34	13
16:30-16:59	36	46	-10	41	31	11
17:00-17:29	31	45	-14	21	8	13
17:30-17:59	13	30	-16	3	-3	6

Figura 4.27 – Variabilidade do ciclo diário da irradiância solar global no sítio T3:  
a) IOP1 e b) IOP2.

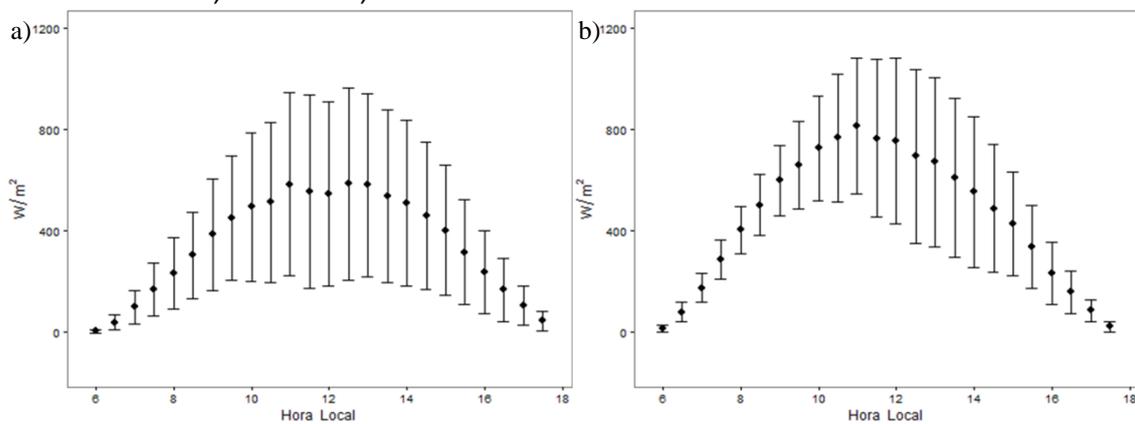


Figura 4.28 – Variabilidade do ciclo diário da irradiância solar global no sítio Embrapa: a) IOP1 e b) IOP2.

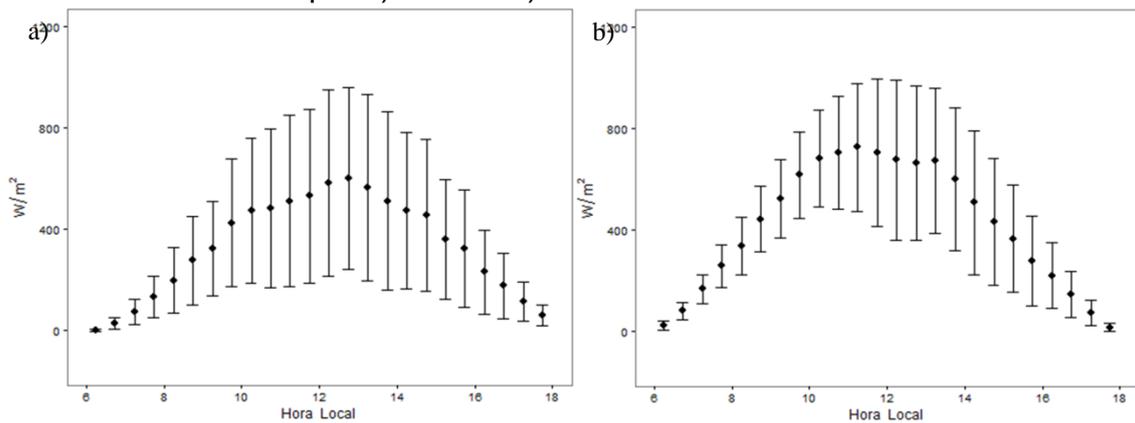
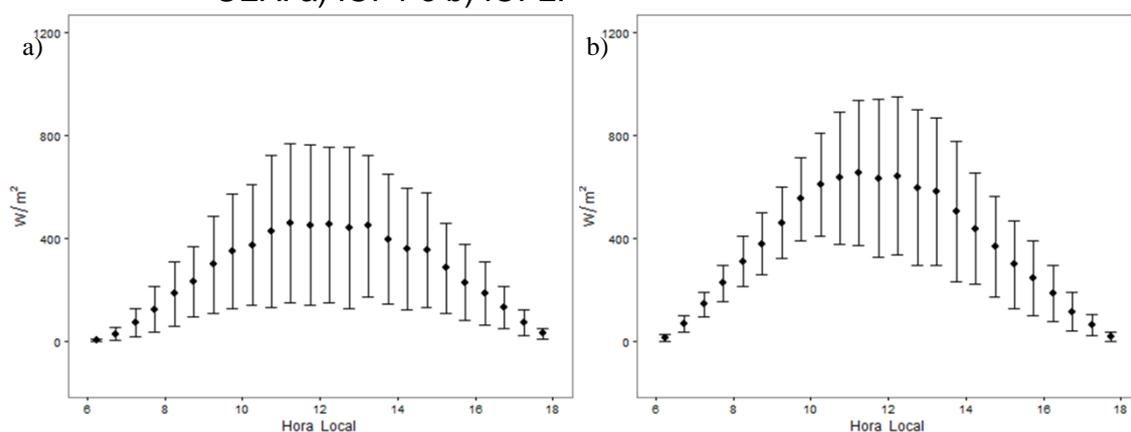


Figura 4.29 – Variabilidade do ciclo diário da irradiância solar global no sítio UEA: a) IOP1 e b) IOP2.



Nas análises foi possível observar que os valores da irradiância solar global na UEA, que fica na área urbana de Manaus, apresentou os menores valores médios dos três sítios nos dois IOPs. Este comportamento concorda com os resultados de diversos outros estudos, nos quais afirmam-se que urbanização altera os fluxos de irradiância solar envolvidos, diminuindo a irradiância solar a superfície (Santos et al., 2013 para Manaus-AM; Andrade e Correa, 2014; para Santarém-PA e Pavão et al., 2015; para Humaitá – AM). A substituição da vegetação natural por área urbana também pode modificar o padrão de energia disponível. Gonçalves et al. (2015) afirmaram, também, que partículas de aerossóis podem afetar significativamente as propriedades microfísicas das nuvens, a cobertura de nuvens, precipitação e o clima regional. Para a cidade de Manaus, Dos Santos et al. (2014) e Tanaka et al. (2014) salientaram que fatores geográficos, incluindo a confluência dos rios Negro e Solimões, uma paisagem urbana e irregularidade do solo afetam os ciclos meteorológicos. Dos Santos et al. (2014) frisaram que a cidade sofre a ação da brisa fluvial e que, nestas condições, a umidade é transportada para o interior do continente, favorecendo a formação de nuvens e maior cobertura de nuvens.

Visando uma análise estatística, aplicou-se o método T-Student para o teste de significância estatística das integrais diárias de um sítio contra o outro. Os

resultados, do IOP1, estão apresentados na Tabela 4.10 e mostraram que as diferenças observada entre os sítios T3 e UEA (distantes entre si em 66 km) e entre EMBRAPA e UEA (distantes entre si 22 km) foram significativas. No IOP2, Tabela 4.11, a diferença foi significativa para os três casos.

Tabela 4.10 – Significância estatística da irradiância solar global nos sítios T3, EMBRAPA e UEA. S (Significante), N (Não significativa), no IOP1.

T3 - UEA	0,001(S)
T3- EMBRAPA	0,39 (N)
EMBRAPA - UEA	0,02 (S)

Tabela 4.11 – Significância estatística da irradiância solar global nos sítios T3, EMBRAPA e UEA. S (Significante), N (Não significativa), no IOP2.

T3 - UEA	0 (S)
T3- EMBRAPA	0,04 (S)
EMPRAPA - UEA	1 (S)

#### 4.4.3 Aerossóis

A profundidade óptica do aerossol (AOD) está relacionada com a quantidade de matéria opticamente ativa na coluna atmosférica e é importante na caracterização da carga de aerossóis das regiões estudadas e na forçante radiativa direta nestes locais. As partículas de aerossóis influenciam o clima através do seu efeito radiativo direto, o qual envolve o espalhamento e a absorção da irradiância solar pelas partículas e através das mudanças que causam propriedades da nuvem (Gonçalves et al., 2015). No estudo para a Amazônia Central, em uma região ao norte de Manaus, Artaxo et al. (2013) afirmaram que em comparação com a estação chuvosa as concentrações de

aerossol aumentam em uma ordem de magnitude na época da seca por causa da queima de biomassa. As mudanças nas concentrações dos núcleos de condensação de nuvens podem variar de algumas centenas até mil núcleos por  $\text{cm}^3$ , afetando fortemente microfísica de nuvens (KOREN et al., 2014).

As Figuras 4.32 e 4.33 mostram a profundidade óptica do aerossol no comprimento de onda de 500 nm. Observou-se, no IOP1, que os dados AOD do sítio T3 foram superiores a EMBRAPA. No IOP2, o T3 também apresentou valores superiores a EMBRAPA.

Entre Manaus e o sítio T3, existem inúmeras pequenas fábricas de tijolos. Estas fábricas usam quase exclusivamente madeira para por fogo em seus fornos (B. Portela Tanaka, comunicação pessoal, 2015), poluindo a atmosfera, mas Martin et al. (2016) identificaram no T3, raras concentrações elevadas de traçadores de queima de biomassa para o conjunto de dado do IOP1, sugerindo que as emissões da fábrica de tijolos não têm uma influência significativa sobre as medições em T3.

Figura 4.30 – AOD 500nm no T3 e EMBRAPA, no IOP1.

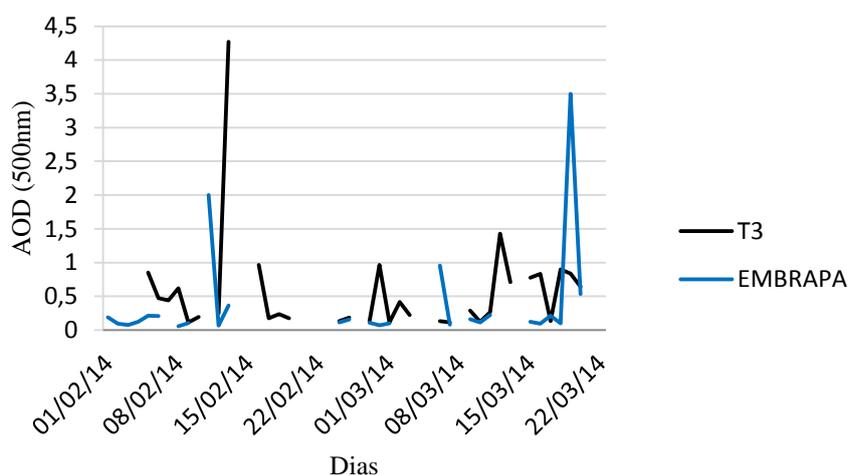
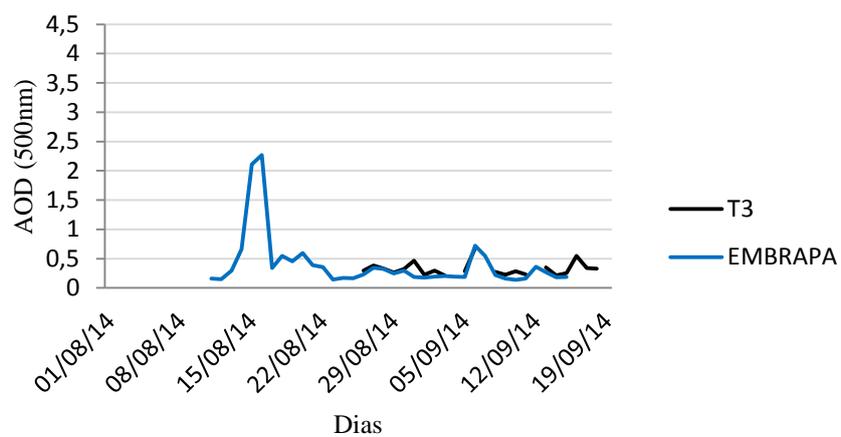


Figura 4.31– AOD 500nm no T3 e EMBRAPA, no IOP2.





## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho realizou um estudo da variabilidade temporal e espacial da irradiância solar. Para tanto, foi realizado, de forma complementar, a análise da cobertura de nuvens, precipitação e aerossóis na região de Manaus-AM. Na variabilidade temporal foram analisadas as irradiâncias solar: global, direta e difusa ao longo dos anos de 2014 e 2015. No estudo da variabilidade espacial foi analisada irradiância solar global em três sítios na região de Manaus-AM, ao longo do ano de 2014.

Os valores médios integrados diários mostraram que a irradiância solar global e direta apresentaram valores mais elevados no período seco de 2015, comparado a 2014, de até  $1,5 \text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ . Enquanto a irradiância solar difusa apresentou valores menores no mesmo período, de até  $0,5 \text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ . Este resultado é coerente com a menor nebulosidade observada no período. Os valores de desvio padrão da irradiância solar difusa foram similares ao longo de todo o período (seco e chuvoso dos dois anos). Dos valores médios mensais de irradiância solar global, difusa e direta, a diferença observada entre os mesmos meses na maior parte do período (23 meses) não foi significativa. A menor visibilidade atmosférica ocorrida em 2015 não afetou os valores médios mensais de irradiância solar. Estes resultados levam a concluir que a condição de El Niño no ano de 2015 afetou a região de maneira a deixar o céu com menor cobertura de nuvens, apesar de uma atmosfera menos transparente. A cobertura de nuvens média representou bem a sazonalidade da época chuvosa (38%) e seca (25%), nos dois anos, mas no período seco de 2015 foi sutilmente menor (menos de 5%) que no mesmo período de 2014. Adicionalmente observou-se que o ano de 2015 foi mais seco comparado com o ano de 2014, em três dos sítios observados (T3, Aeroporto Eduardo Gomes e Base Aérea de Ponta Pelada), devido ao evento EN.

Na variabilidade espacial, os valores de cobertura de nuvens foram superiores no IOP1 (período chuvoso) comparada ao IOP2 (período seco). A cobertura de nuvens foi mais elevada, nos dois IOPs, na Base Aérea de Ponta Pelada. Com relação aos valores de irradiância solar global, foi observado que os menores valores médios ocorreram na área urbana, justificado pela urbanização que altera os fluxos de irradiância solar envolvidos, diminuindo a irradiância solar a superfície e também devido a elevada cobertura de nuvens, pois o sítio de área urbana está entre duas áreas de maior cobertura de nuvens observadas no estudo, o Aeroporto Eduardo Gomes e Base Aérea Ponta Pelada.

### **5.1.1 Trabalhos futuros**

Futuramente, pretende-se estudar com mais detalhamento a presença de nuvens da região e seu impacto na condição de irradiância solar. As nuvens são o principal modulador atmosférico da irradiância solar participando do balanço de energia terrestre e do ciclo hidrológico. Outro aspecto importante é a presença de aerossóis (de origem natural e antropogênica), que podem absorver parte da radiação solar, causando alterações no perfil termodinâmico da atmosfera. Sendo assim, sugere-se, como trabalhos futuros que sejam feitas as seguintes análises:

1. Analisar dados de nuvens durante o período de 2014/15 e compreender de maneira mais detalhada o seu impacto na irradiância solar à superfície.
2. Analisar dados de radiação solar coletados nos aviões (G1 e G5) durante os experimentos IOPs 1 e 2;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M. A. S.; MACHADO, L. A. T.; PRASAD, G. S. S. D. Estudo da variabilidade de cobertura de nuvens na Amazônia Central. **Acta Amazônica**, v. 37, p. 71-80, 2007.
- ALMEIDA, R; SALATI, E; VILLA NOVA, N. A. Distribuição espectral e Coeficiente de transmissão da radiação solar para condições de céu limpo em Manaus. **Acta Amazônica**, v. 9, N. 2, p. 279-285, 1979.
- ANDRADE, S. C. P.; CÔRREA, J. A. J. Estimativa do saldo de radiação instantâneo à superfície para a cidade de Santarém-PA, através de imagens do Landsat 5-TM, 2014. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.07, n.4, p.653-661, 2014.
- ANDRADE, R.G.; VICTORIA, D.DE C.; NOGUEIRA, S.F.; MASSAGLI, G.O.; AGNESE, M.L. Estimativa dos fluxos de energia à superfície e da evapotranspiração real diária utilizando imagens do sensor MODIS/Aqua na Bacia do Rio Ji-Paraná, RO. **Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, p. 13-26, 2010.
- ANDREAE, M. O.; ROSENFELD, D.; ARTAXO, P.; COSTA, A. A.; FRANK, G. P.; LONGO, K. M.; SILVA-DIAS, M. A. F. Smoking rainclouds over the Amazon. **Science**, v.303, p. 1337–1342, 2004.
- ARTAXO, P.; RIZZO, L. V.; BRITO, J. F.; BARBOSA, H. M. J.; ARANA, A.; SENA, E. T.; CIRINO, G. G.; BASTOS, W.; MARTIN, S. T.; ANDREAE, M. O. Atmospheric aerosols in Amazonia and land use change: from natural biogenic to biomass burning conditions. **Faraday Discuss.**, p.203–235, 2013, DOI: 10.1039/c3fd00052d.
- BAZZAS, F. A. Dynamics of wet tropical forests and their species strategies. In: MEDINA, E.; MOONEY, H. A.; VASQUEZ-YANES, C. (eds.) **Physiological ecology of plants of the wet tropics**. [S.l.]: Junk, W. Publishers, 1984.
- BJERKNES, J. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to Equatorial anomalies of ocean temperature. **Tellus Series a-Dynamic Meteorology and Oceanography**, v. 18, p. 820-829, 1966.

BOUCHER, O.; RANDALL, O.; ARTAXO, P.; BRETHERTON, C.; FEINGOLD, G.; FORSTER, P.; KERMINEN, V.-M.; KONDO, Y.; LIAO, H.; LOHMANN, U.; RASCH, P.; SATHEESH, S.K.; SHERWOOD, S.; STEVENS, B.; ZHANG, X.Y., 2013: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Clouds and aerosols. Cambridge, Eds. Cambridge University Press, 2013, p. 1466 571-657.

doi:10.1017/CBO9781107415324.016. Acessado em: 24 de Agosto de 2015

BRINKMANN, W. L. F.; WEINMAN, J. A.; RIBEIRO, M. N. G. Air temperatures in Central Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 1, n. 1, p. 75-76, 1971.

BRITO, J.; RIZZO, L. V.; MORGAN, W. T.; COE, H.; JOHSON, B.; HAYWOOD, J.; LONGO, K.; FREITAS, S.; ANDRAE, M. O.; ARTAXO, P. Ground-based aerosol characterization during the south American Biomass Burning Analysis (SAMBBA) field experiment. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 14, p. 12069-12083, nov. 2014.

BUTT, N.; NEW, M.; MALHI, Y.; COSTA, A. C. L.; OLIVEIRA, P.; ESPEJO, J. E. S. Diffuse radiation and cloud fractions in two contrasting Amazonian rainforest sites. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 3, p. 361-368, 2010, doi:10.1016/agrfomet.2009.12.004

CAVALCANTI, C. A. S.; SILVEIRA, V. P.; ALVES, L. M. Características atmosféricas e oceânicas em anos de seca. In: BORMA, L. S., NOBRE, C. A. (eds.). **Secas na Amazônia: causas e consequências**. São Paulo, Oficina de Textos, 2013. cap. 4, p. 54-77.

CIRINO, G. G.; SOUZA, R. A. F.; ADAMS, D. K.; ARTAXO, P. The effect of atmospheric aerosol particles and clouds on net ecosystem exchange in the Amazon. **Atmospheric Chemistry and Physics**, p.6523-6543, 2014, doi:10.5194/acp-14-6523-2014.

COELHO, C. A. S.; CAVALCANTI, I. F. A.; ITO, E. R.; LUZ, G.; SANTOS, A. F.; NOBRE C. A.; MARENGO, J. A.; PEZZA, A. B. As secas de 1998, 2005 e 2010- Análise climatológica, In: BORMA, L. S., NOBRE, C. A. (eds.). **Secas na Amazônia: causas e consequências**. São Paulo, Oficina de Textos, 2013. Cap. 6, p. 89-116 (a).

COELHO, C. A. S.; COSTA, S. M. S.; FREITAS, S. R. O efeito do aerossol na formação de nuvens o caso das secas de 2005 e 2010, In: BORMA, L. S., NOBRE, C. A. (eds.). **Secas na Amazônia: causas e consequências**. São Paulo, Oficina de Textos, 2013. cap. 7, p.117-121 (b).

COSTA AZEVEDO, D.; PINTO, M. M.; AZEVEDO, M. L.; Distribuição da radiação solar na região amazônica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2., 1974, João Pessoa. **Anais...João Pessoa: UFPB, 1974.**

CULF, A.D.; ESTEVES, J. L.; MARQUES FILHO, A. DE O. Radiation, Temperature and humidity over forest and pasture in Amazonia. In : GASH, J. H.C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. (eds.). **Amazonia deforestation and climate**. Chicester, UK: John Wiley& Sons, 1996. p. 175-191.

DOS SANTOS, M. J.; SILVA DIAS, M. A. F.; FREITAS, E. D. Influence of local circulations on wind, moisture, and precipitation close to Manaus City, Amazon Region, Brazil, **Journal of Geophysics Reserch**, v. 119, p.13233–13249, 2014.

DOUGHTY, C. E.; FLANNER, M. G.; GOULDEN, M. L. Effect of smoke on subcanopy shaded light, canopy temperature, and carbon dioxide uptake in an Amazon rainforest, **Global Biogeochem Cycles**, v. 24, n. 3, jul.2010. doi:10.1029/2009GB003670.

DURIEUX, L.; MACHADO, L. A. T.; LAURENT, H. The impact of deforestation on cloud cover over the Amazon arc of deforestation. **Remote Sensing Environment**, p.132-140, 2003, DOI: 10.1016/S0034-4257(03)00095-6

ECHER, M. P. S.; MARTINS, F. R.; ARUJO, R. T.; VILLARON, M. A.; PINTO, M. L. A.; CORREA, C. S. Comparison of ground techniques used to estimate cloud cover in Florianópolis, southern Brazil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 31,n. 1, p.85-95, 2013.ISSN 0102-261X.

FEITOSA, J. R. P.; COSTA, R. F.; FISCH, G.; SILVA, S. S.; NOBRE, C. A. radiação solar global em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 1, p. 1-7, 1998.ISSN 0104-1347.

FENG, Y.; KOTAMARTHI, V.; COULTER, R.; ZHAO,C.; CADEDDU,M. Radiative and thermodynamic responses to aerosol extinction profiles during the pre-monsoon month over South Asia. **Atmospheric Chemistry and Physics Discuss.**, v.15, p. 16901–16943, 2015.

FIORIN, D. V. Aplicações de redes neurais e previsões de disponibilidade de recursos energéticos solares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 1309-00—1309-20, 2011.

FISCH, G.; MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A. Uma revisão geral do clima da Amazônia. **Acta Amazônica**.v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998.

GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, J.M.; VICTORIA, R.L. **Amazonia deforestation and climate**. Chichester: John Wiley, n. 38, v. 3, p. 381-386, mar. 1998. ISSN 1573-1480. DOI: 10.1023/A:1005360414358.

GREENLAND, T.J.; L'ECUYER, T.S.; CHRISTOPHER, S.A.: Evaluating specific error characteristics of microwave-derived cloud liquid water products. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n 2, p..1-10 nov. 2007 DOI: 10.1029/2007GL031180.

GRIMM, A. M.; ZARATINI, P.; MARENGO, J. Sinais de El niño na precipitação da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 1998, Brasília. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 1998. Disponível em: <http://www.cbmet.com/cbm-files/13-d720b8c6fe868cf8fc1f05d5041b5c68.pdf>. Acesso em: 03 Maio 2015.

GOLDMAN, G. H.; FATTORI, A. P.; JANUÁRIO, M. Variação espacial e temporal da irradiância solar e da razão entre vermelho e vermelho-extremo que chegam ao solo em diferentes micro habitats na região de Tucuruí - PA. **Acta Amazônica**, v. 19, n. 4, p. 243-248, 1989.

GONÇALVES, W. A.; MACHADO, L. A. T.; KIRSTETTER P. Influence of biomass aerosol on precipitation over central Amazon: an observational study. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 15, p. 6789-6800, 2015. doi:10.5194/acp-15-6789-2015.

HOREL, J. D.; HAHMANN, A. N.; GEISLER, J. E. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. **Journal of Climate**, v. 2, n. 11, p. 1388-1403, 1989.

IQBAL, M. **Introduction to solar radiation**. London: Academic, 1983. 381p. ISBN: 978-0-12-373750-2.

HABTE, A.; STOFFEL, T.; REDA, I.; WILCOX, S.; KUTCHENREITER, M.; GOTSEFF, P.; ANDERBERG, M. **Solar radiometric data quality assessment of SIRS, SKYRAD and GNDRAD measurements**. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/61522.pdf>> Acessado em: Fevereiro de 2016.

KAIANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Decadal variability of northern northwest Brazil rainfall and its relation to tropical sea surface temperature and global sea level pressure anomalies. **Journal of Geophysical Research**., v. 109, n. C11011, Nov. 2004. DOI: 10.1029/2004JC002429

KOREN, I.; KAUFMAN, Y.J.; REMER, L.A.; MARTINS, J.V. Measurement of the effect of amazon smoke on inhibition of cloud formation. **Science**, v.303,n. 5662, p. 1342-1345, 2004. DOI10.1126/science.1089424.

KOREN, I.; DAGAN, G.; AND ALTARATZ, O. From aerosol-limited to invigoration of warm convective clouds. **Science**, p. 344, 1143–1146, 2014.

KOUSKY, V.E.; FERREIRA, N. J. Interdiurnal surface pressure variations in Brazil: their spatial distributions, origins and effects. **Monthly Weather Review**, n. 109, p. 1999-2008, 1981.

LENOBLE, J. **Atmospheric radiative transfer**. Hampton: A DEEPAK Publishing, 1993.

LIOU, K. N. **An introduction to atmospheric radiation**. New York: Academic Press Inc., 2002. 583 p.

LONG, C. N.; DUTTON, E. G. **BSRN Global Network recommended QC tests, V2.0**, 2002. Disponível em: [http://bsrn.awi.de/fileadmin/user\\_upload/bsrn.awi.de/Publications/BSRN\\_recommended\\_QC\\_tests\\_V2.pdf](http://bsrn.awi.de/fileadmin/user_upload/bsrn.awi.de/Publications/BSRN_recommended_QC_tests_V2.pdf). Acesso em: 30 de Maio de 2015.

LONG, C. N.; SABBURG, M. J.; CALBÓ, J.; PAGÉS, D. Retrieving cloud characteristics from ground-based daytime color all-sky images. **Journal of Atmospheric and Oceanic Tecnology**, v. 23, p. 633-652, mai.2006.

LONG, C. N. Correcting for circumsolar and near-horizon errors in sky cover retrievals from sky images. **The Open Atmospheric Science Journal**, v.4, p. 45-52, 2010.

MACHADO, L. A. T.; LAURENT H.; LIMA, A. A. Diurnal march of the convection observed during TRMM-WETAMC/LBA. **Journal of Geophysical Research**, v.107 n.D20, p. LBA 31-1–LBA31-15, 2002.DOI: 10.1029/2001JD000338.

MACHADO, L. A. T.;LAURENT, H.; DESSAY, N.; MIRANDA, I. Seasonal and diurnal variability of convection over the Amazonia: A comparison of different vegetation types and large scale forcing, **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, p. 61–77. 2004DOI: 10.1007/s00704-004-0044-9.

MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R.; Observations of the 40-50-day tropical oscillation - a review. **Monthly Weather Review**, v. 122, p.814-837, 1994.

MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R.; Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period. **Journal of Atmospheric Science**, v. 29, p.1109-1123, 1972.

MARENCO, F.; JOHNSON, B.; LANGRIDGE, J. M.; MULCAHY, J. M.; BENEDETTI, A.; REMY, S.; JONES, L.; SZPECK, K.; HAYWOOD, J.; LONGO, K.; ARTAXO, P. On the vertical distribution of smoke in the Amazonian atmosphere during the dry season. **Atmospheric Chemistry Physics**, v. 16, p. 2155—2174, 2016.

MARTIN, S.T.; ARTAXO, P.; MACHADO, L. A. T.; MAZNI, A. O.; SOUZA, R. A. F.; SCHUMACHER, C.; WANG, J.; ANDREA M. O.; BARBOSA, H. M. J.; FAN, J.; FISCH, G.; GOLDSTEIN, A. H.; GUENTHER, A.; JIMENEZ, J. L.; POSCHL, U.; SILVA DIAS, M.A.; SMITH, J.N.; WENDISCH, M. Introduction: Observations and Modeling of Green Ocean Amazon (GOAmazon 2014/15) **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 15, p. 4785—4797, 2016.

MARTINS, F. R.; SOUZA, M. P.; PEREIRA, E. B. Comparative study of satellite and ground techniques for cloud cover determination. **Advances in Space Research**. v. 32. n.11, p. 2275-2280, dez. 2003.

MARTINS, P. A. S.; QUERINO, C. A. S.; PAVÃO, V. M.; QUERINO, J.K. A .S.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. Verificação da turbidez atmosférica em Humaitá – AM. **EducAmazônia**. v. 12, n.1, p. 86-98, jun-jul, 2014.

MICHALSKY, J. J.; GUEYMARD, C.; KIERDON, P.; McARTUHR, L. J. B., PHILIPONA, R.; STOFFEL, T. A proposed working standard for the measurement of diffuse horizontal shortwave irradiance. **Journal of Geophysical Research**, v. 112, n. D16, ago.2007. DOI:10.1029/2007JD008651.

MOLION, L.C.B. Climatologia dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, n. 1, pag.107-117, 1987.

MYHRE, G.; SHINDELL D.; BRÉON, F-M.; COLINS, W.; FUGLESTVEDT, J.; HUANG, J.; LAMARQUE, J-F.; LEE, D.; MENDOZA, B.; NAKAJIMA, T.; ROBOCK. A.; STEPHENS, G.; TAKEMURA, T.; ZHANG, H. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: "Anthropogenic and Natural Radiative Forcing.", Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Cambridge University Press, 2013, 659–740. Acessado em :18 ago. 2015.

OBREGÓN, G. P. **Dinâmica da variabilidade climática da precipitação sobre a América do Sul**. 2003. 187p. (INPE- 8604-TDI/789). Tese (Doutorado

em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2001. Disponível

em: <<http://urlib.net/6qtX3pFwXQZsFDuKxG/xxtn8>>. Acesso em: 26 set. 2016.

OBREGÓN, G. P.; NOBRE, C. A. A principal component analysis applied to rainfall in Amazonia. **Climanálise**, v. 5, p. 35-46, 1990.

OLIVEIRA, A. S. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia**. 1986. 134 p. (Inpe-4008-TDL/239). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 1986. Disponível em: <http://urlib.net/6qtX3pFwXQZGivnJSY/HetLL>. Acessado em: 03 ago. 2015.

OLIVEIRA, G. S. **O El-Niño e você: o fenômeno climático**. São José dos Campos: Transec, 1999. 116 p.

SILVA, A. A.; ECHER, M. P. S. Ground-based measurements of local cloud cover. **Meteorological and Atmospheric Physics**, v.120, p. 201-212, DOI: 10.1007/s00703-013-0245-9, 2013.

PAVÃO, V. M.; QUERINO, C. A. S.; BENEDITTI, C. A.; PAVÃO, L. L.; QUERINO, J. K. A. S. Temperatura e albedo da superfície por imagens tmlandsat5 em diferentes usos do solo no sudoeste da Amazônia brasileira, **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p.169-183, 2015.

PAVÃO, V. M.; QUERINO, C. A. S.; QUERINO, J. K. A. S.; PAULO ANDRÉ DA SILVA MARTINS; LUAN FERREIRA SIQUEIRA; LEITE, L. O.; PASSOS, L. A.; RODRIGUES, T. A. C.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. Análise da radiação solar global (rg) e albedo superficial sobre um ecossistema de floresta nativa em Humaitá - AM durante o período chuvoso. **Revista EDUCAmazônia - Educação Sociedade e Meio Ambiente**, v.7, n.1, p. 42-56, 2014.

PAIXÃO, M. M. A. **Propriedades ópticas de aerossóis naturais e de queimadas da Amazônia**. 2011. 120p. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, Instituto de Física, 2011.

PEIXOTO, J. P.; A. H. OORT. **Physics of climate**. Nova York: American Institute of Physics, 1992. 520p. ISBN 0-88318-712-4.

RAO, V. B.; HADA, K. Characteristic of a rainfall over Brazil: annual variation and connections with Southern oscillation. **Theoretical and Applied Cilmatology**, v. 42, n. 2, p. 81-91, 1990.

RAP, A.; SPRACKLEN, D. V.; MERCADO, L.; REDDINGTON, C. L.; HAYWOOD, J. M.; ELLIS, R. J.; PHILLIPS, O. L.; ARTAXO, P.; BONAL, D.; RESTREPO COUPE, N.; BUTT, N. Fires increase Amazon forest productivity

through increases in diffuse radiation. **Geophysics Research Letters**, v. 42, p. 4654–4662, jun. 2015. doi:10.1002/ 2015GL063719.

RASMUSSEN, E. M. ARKIN, P. A. A global view of large-scale precipitation variability. **Journal of Climate**, v.6, p. 1495-1522.1993.

RIBEIRO, M. N. G.; SALATI, E.; VILLA NOVA, N. A.; DEMÉTRIO, C. G. B. Radiação solar disponível em Manaus (AM) e sua relação com a duração do brilho solar. **Acta Amazônica**, Manaus, v.12, n. 2, p.339-346, 1982.

RICARTE, R. M.; HERDIES, D. L.; BARBOSA, T. F. Patterns of atmospheric circulation associated with cold outbreaks in southern Amazonia. **Royal Meteorological Society**, v. 22, p. 129-140, 2015.

RIEBECK, H. **Effect of various natural and human factors on global mean temperature between 1889-2006**, 2010. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Effect\\_of\\_various\\_natural\\_and\\_human\\_factors\\_on\\_global\\_mean\\_temperature\\_between\\_1889-2006\\_\(NASA\).png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Effect_of_various_natural_and_human_factors_on_global_mean_temperature_between_1889-2006_(NASA).png)>. Acesso em: Janeiro de 2016.

RIZZO, L. V.; ARTAXO, P.; MULLER, T.; WIEDENSOHLER, A.; PAIXÃO, M.; CIRINO, G. G.; ARANA, A.; SWIETLICKI, E.; ROLDIN, P.; FORS, E. O.; WIEDMANN, K. T.; LEAL, L. S. M.; KULMALA, M. Long term measurements of aerosol optical properties at a primary forest site in Amazonia. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v.13, p. 2391-2413, mar. 2013. doi:10.5194/acp-13-2391-2013.

SALATI, E.; MARQUES, J. Climatology of the Amazon region. In: SIOLI, H. (ed.). **The Amazon** - limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. Dr. W. Junk Publishers, 1984. 763p.

SANTOS, C.A.; LIMA, J.R.A. Análise dos efeitos da expansão urbana de Manaus-AM sobre parâmetros ambientais através de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.6, n.1, p.1-14, 2013.

SATYAMURTY, P.; COSTA, C. W. ;MANZI, A.O.;CANDIDO, L. A. A quick look at the 2012 record flood in the Amazon Basin. **Geophysical Research Letters**, v. 40, p. 1-6, 2013.

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

SATYAMURTY, P; COSTA, C. P. W.; MANZI A. O. Moisture source for the Amazon Basin: a study of contrasting years. **Theoretical Applied Climatology**, v.111, p. 195–209, 2012, DOI: 10.1007/s00704-012-0637-7, 2012.

SCHAFER, J. S.; HOLBEN, B. N.; ECK, T. F.; YAMASOE, M. A.; ARTAXO, P. Atmospheric effects on insolation in the Brazilian Amazon: observed modification of solar radiation by clouds and smoke and derived single scattering albedo of fire aerosols. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, N. D20, 2002.doi 10.1029/2001JD000428.

SENN, E. T.; ARTAXO, P.; CORREIA, A. L. Spatial variability of the direct radiative forcing of biomass burning aerosols and the effect of land use change in Amazonia. **Atmospheric Chemistry and Physics** v. 13, p. 1261-1275, 2013.

SHUTTLEWORTH, W. J. Micrometeorology of temperate and tropical forest [and discussion], **Philosophical Transactions of Royal Society**, v. 324, 299-334, 1989.

SEINFELD, J.H.; PANDIS S.N.; **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2012. 1326 p. ISBN-13 978-0471720188.

CAVALCANTI, C. A. S.; SILVEIRA, V. P.; ALVES, L. M. Características atmosféricas e oceânicas em anos de seca. In: BORMA, L. S., NOBRE, C. A. (eds.). **Secas na Amazônia: causas e consequências**. São Paulo, Oficina de Textos, 2013. cap. 4, p. 54-77.

STOCKER, T. **Introduction to climate modeling series: advances in geophysical and environmental mechanics and mathematics XVIII**. Nova York, Springer, 2011, ISSN: 1866-8348.

SOUZA, E. B. Precipitação climatológica sobre a Amazônia oriental durante o período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n. 2, p. 111-124, 2009.

TANAKA, L. M. D. S.; SATYAMURTY, P.; MACHADO, L. A. T. Diurnal variation of precipitation in Central Amazon Basin. **Int J. Climatol.**,v. 34, n. 13, p.3574–3584,nov, 2014. DOI: 10.1002/joc.3929,2014.

U. S. DEPARTAMENT OF ENERGY, OFFICE OF SCIENCE, OFFICE OF BIOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL RESEARCH. **SKYRAD Handbook**,2004.7 p. (ARM TR-026).

U. S. DEPARTAMENT OF ENERGY, OFFICE OF SCIENCE, OFFICE OF BIOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL RESEARCH. **Total sky imager handbook**,2005. 12 p. (ARM TR-017).

VIANA, L. P. **Estudo observacional dos eventos de friagens e tendências climáticas na bacia amazônica brasileira**.2015. p. 128. (sid.inpe.br/mtc-m18/2015/04.27.19.17-TDI) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais(INPE)

São José dos Campos, 2015. Disponível em:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/3JD5U85>. Acesso em: Fevereiro de 2016.

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

VILLA NOVA, N. A.; RIBEIRO, M. N. G.; NOBRE, C. A.; SALATI, E. Radiação Solar em Manaus. **Acta Amazônica**, v.8, n. 3, p 417-421, 1978.

VISWANADHAM, Y.; MOLION, L.C.B.; MANZI, A.O.; SÁ, L.D.A.; SILVA FILHO, V.P.; ANDRÉ, R.G.B.; NOGUEIRA, J.L.M.; SANTOS, R.C. Micrometeorological measurements in Amazon forest during GTE/ABLE 2A mission. **Journal of Geophysical Research**,v.95, n.D9, p.13669-13682, ago. 1990.

YAMASOE, M. A.; VON RANDOW, C.; MANZI, A. O.; SCHAFFER, J. S.; ECK, T. F.; HOLBEN, B. N. Effect of smoke and clouds on the transmissivity of photosynthetically active radiation inside the canopy, **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 6, p. 1645–1656, 2006. doi:10.5194/acp-61645-2006.

WEICKMAN, K. M. El Niño/Southern oscillation and Madden-Julian (30-60 day) oscillations during 1981-1982. **Journal of Geophysics**. v. 96, p. 3187-3195, 1991.

WEICKMANN, K. M.; LUSSKY, G. R.; J. E. Intraseasonal (30 - 60 Day) Fluctuations of Outgoing Long Wave Radiation and 250 mb Stream function During Northern Winter. **American Meteorological Society**, v. 113,p. 941-961, 1985.

## APÊNDICE A

Este apêndice tem o objetivo fazer uma análise complementar ao que foi discutido no capítulo de cobertura de nuvens (Capítulo 4.1.1), onde se discutiu os valores médios mensais em 2014 e 2015. Aqui serão apresentadas as diferenças entre valores médios mensais entre 2014 e 2015.

As Figuras A.1 a A.3 representam valores médios da diferença (2014-2015) da fração de nuvens fina e opaca para o período de 2014 e 2015.

Figura 0.1 - Valores das diferenças (ano de 2014-2015) da fração de cobertura de nuvens média nos meses de (a) Março, (b) Abril.

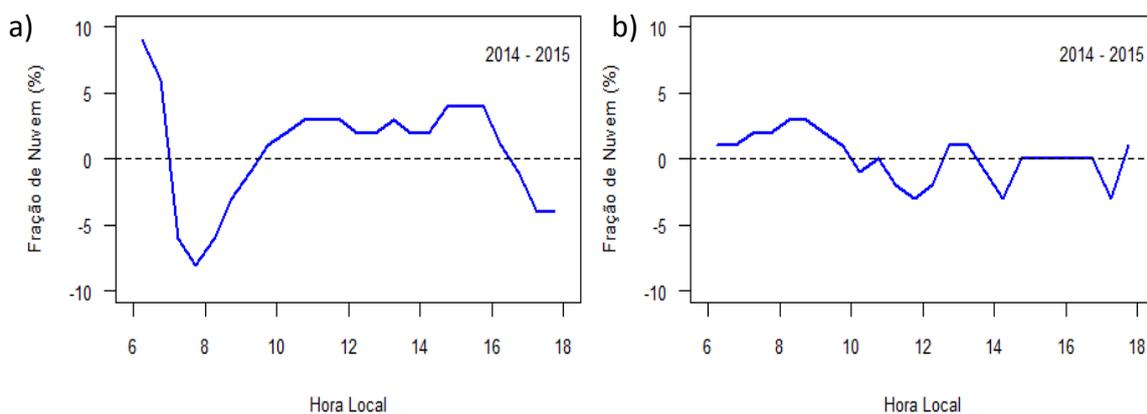


Figura 0.2 - Valores das diferenças (ano de 2014-2015) da fração de cobertura de nuvens média nos meses de (a) Maio, (b) Junho, (c) Julho, (d) Agosto.

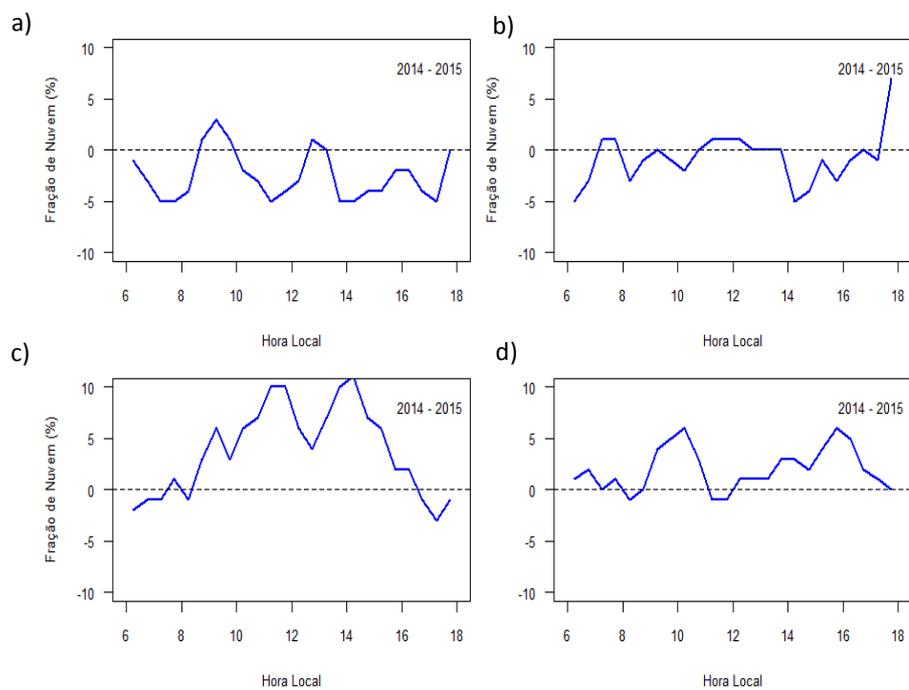
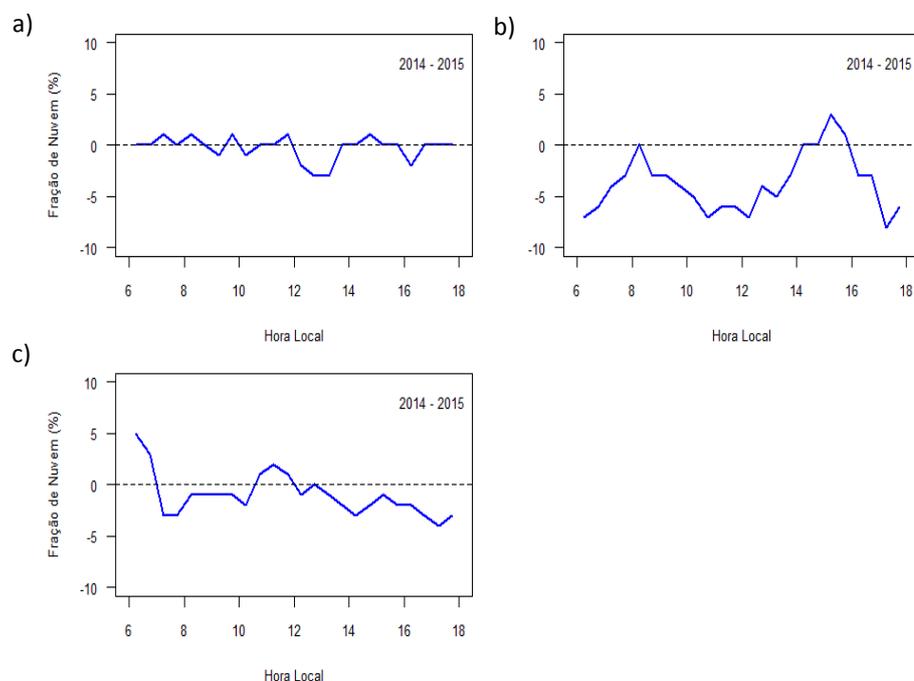


Figura 0.3 - Valores das diferenças (ano de 2014-2015) da fração de cobertura de nuvens média nos meses de (a) Setembro (b) Outubro (c) Novembro.



As Figuras A.4a a A.6c tem por objetivo de identificar se houve variabilidade anual do tipo de nuvem que o instrumento TSI registra. Uma vez que, conforme salientado por Silva e Echer (2013), a presença de plumas de aerossol na atmosfera (característico do período seco na região de estudo) pode enganosamente ser confundida com partes mais finas de nuvem.

Observou-se que em Março e Julho (Figuras A.4a e A.5c), os registros de nuvens opacas foram superiores em 2015 e as nuvens finas superiores em 2014. Em Setembro (Figura A.5d), as nuvens finas passam a ser maioria em 2015, e este também foi o mês em que houve registro maior poluição de 2014 e 2015 (Tabela 4.4), mostrando que os registros de nuvem fina do TSI podem ter a vir a se confundir com a poluição. Nas Figuras A.6b e A.6c, observou-se que tanto as frações de nuvens finas quanto opacas foram superiores em 2015.

Figura 0.4 - Diferenças da fração de cobertura de nuvens média, fina e opaca, do ano de 2014 subtraída de 2015, nos meses de (a) Março, (b) Abril.

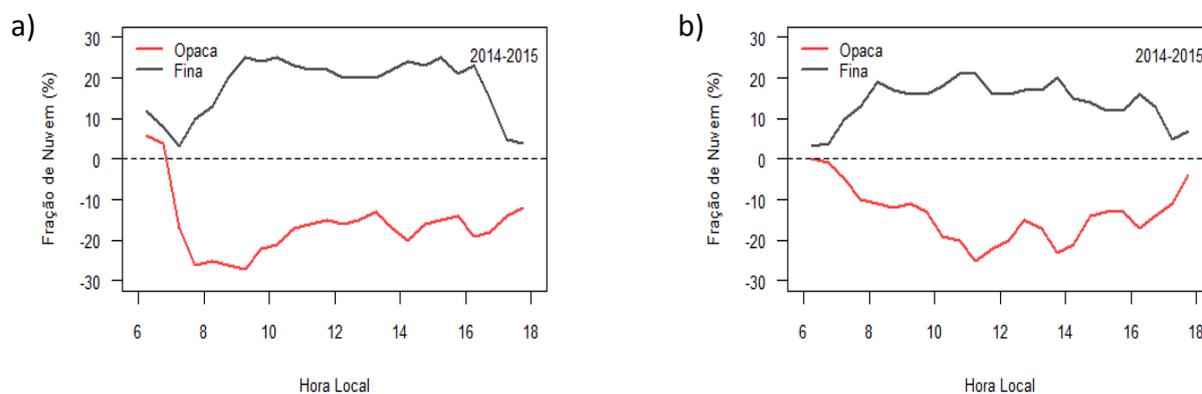


Figura 0.5 - Diferenças da fração de cobertura de nuvens média, fina e opaca, do ano de 2014 subtraída de 2015, nos meses de (a) Maio (b) Junho, (c) Julho, (d) Agosto.

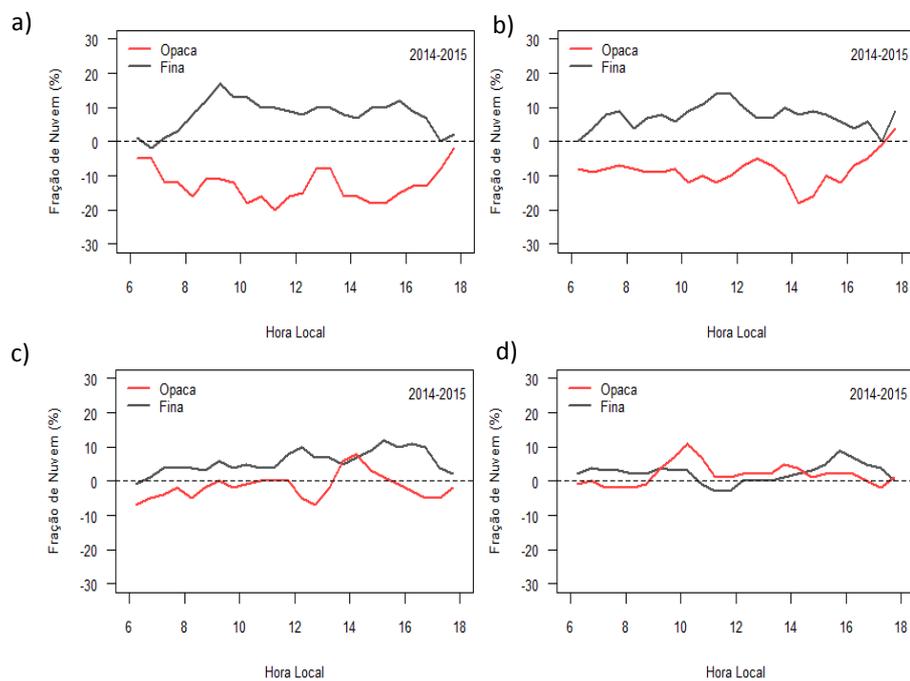
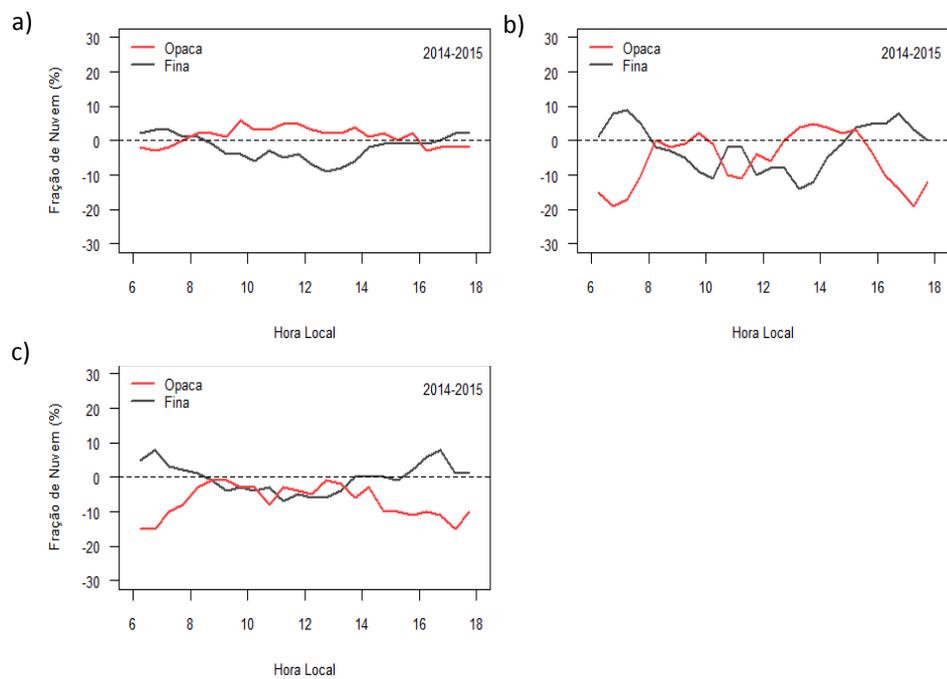


Figura 0.6 - Diferenças da fração de cobertura de nuvens média, fina e opaca, do ano de 2014 subtraída de 2015, nos meses de (a) Setembro, (b) Outubro, (c) Novembro.



## **APÊNDICE B**

Este apêndice tem o objetivo fazer uma análise complementar ao que foi discutido no capítulo de irradiância solar (Capítulo 4.1.3.1), onde se discutiu as médias mensais e valores típicos médios e de desvio padrão do ciclo diário de um mês seco e outro chuvoso, em 2014 e 2015. Aqui serão apresentadas as diferenças entre valores médios mensais entre 2014 e 2015 e os valores médios mensais do ciclo diário da irradiância solar global (de Janeiro de 2014 a Novembro de 2015) com os seus desvios padrões.

### **B.1 Diferença entre os valores médios mensais horários da irradiância solar global de 2014 e 2015**

A linha azul, nas Figuras, representa a diferença entre os valores 2014 e 2015, sendo que valores positivos significam que os valores médios do ano de 2014 foram superiores ao ano de 2015 e negativos (vice versa), sendo que a linha tracejada mostra o valor zero para facilitar a visualização.

Figura 0.1– Ciclo diário da variabilidade temporal da irradiância solar global média, nos meses de (a) Janeiro, (b) Fevereiro, (c) Março e (d) Abril.

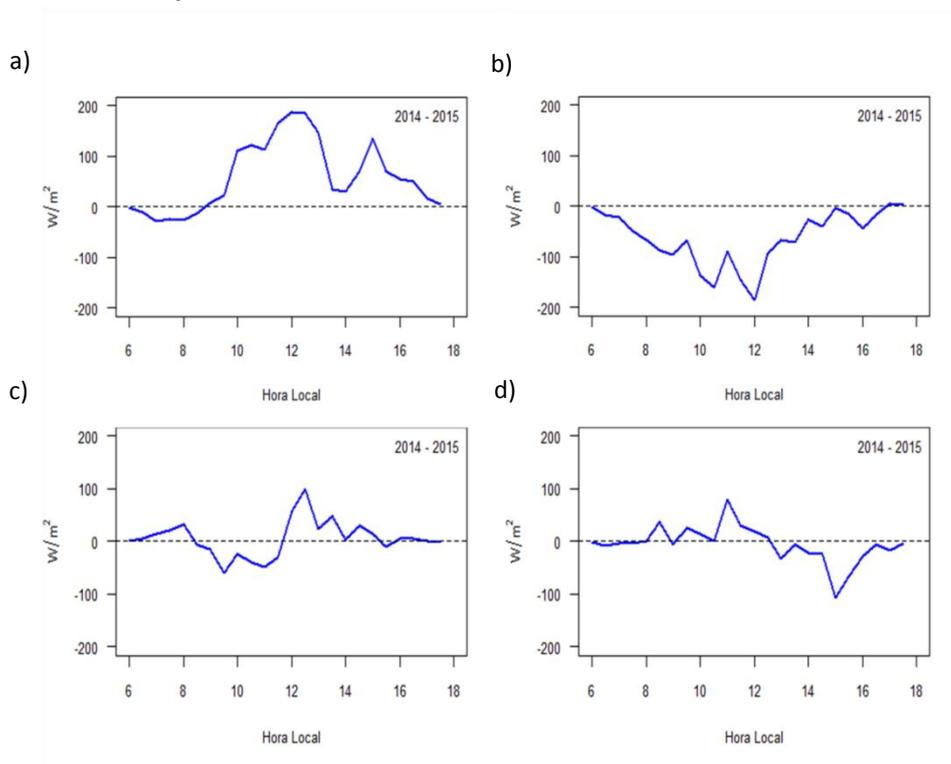


Figura 0.2 – Ciclo diário da variabilidade temporal da irradiância solar global média, nos meses de (a) Maio, (b) Junho, (c) Julho e (d) Agosto.

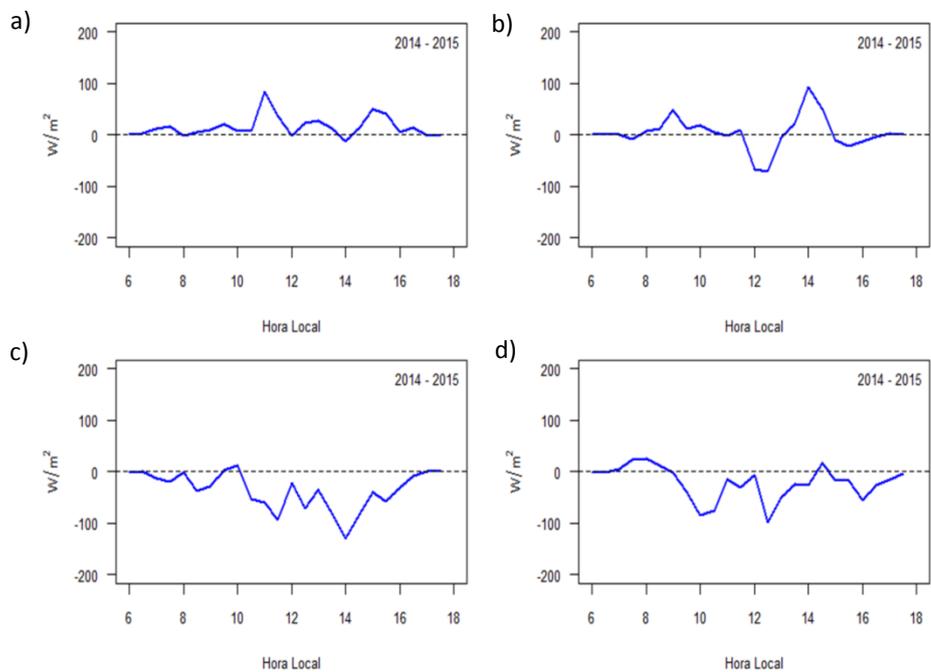
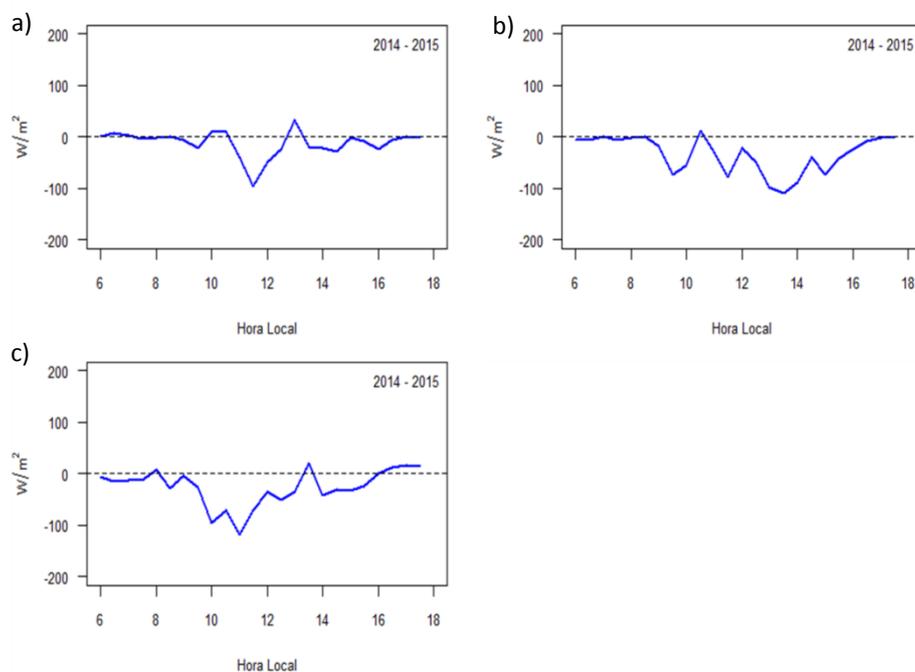


Figura 0.3 – Ciclo diário da variabilidade temporal da irradiância solar global média, nos meses de (a) Setembro, (b) Outubro e (c) Novembro.



## B.2 Valores médios mensais horários e seus desvios padrões da irradiância solar global no ciclo diário de 2014 e 2015.

Os máximos de variabilidade da irradiância solar global ocorreram nos horários próximos da metade do dia. Machado et al. (2002) já haviam observado que entre 11:30 e 13:30 horas há o máximo incremento da convecção profunda e formação da cobertura de nuvens com decaimento a da convecção profunda partir das 16:30 horas. O resultado destes autores ajuda a compreender o que dos desvios padrões mais elevados do ciclo diário médio relacionam-se com as mudanças significativas de cobertura de céu que influenciam nos fluxos de irradiância solar global a superfície.

Observou-se que as Maiores variabilidades e menores médias ocorreram no período chuvoso. O comportamento oposto foi observado no período seco. Isto

ocorre porque as condições de céu variam menos neste período. Satyamurty et al.(2012) e Martin et al. (2016) afirmaram que, no período chuvoso, os ventos de nordeste, característicos da circulação de grande escala, que adentram a bacia amazônica, transportam mais umidade. Por este motivo a disponibilidade de vapor d'água para o disparo da atividade convectiva formação de nuvem é mais intensa nos meses de Novembro a Março.

Figura 0.4 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Janeiro de: (a) 2014 e (b) 2015.

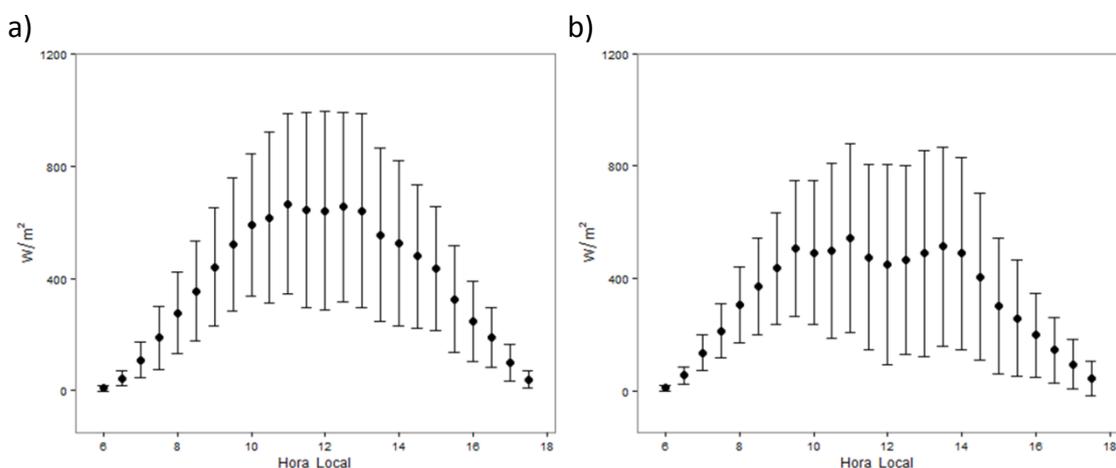


Figura 0.5– Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Março de: (a) 2014 e (b) 2015.

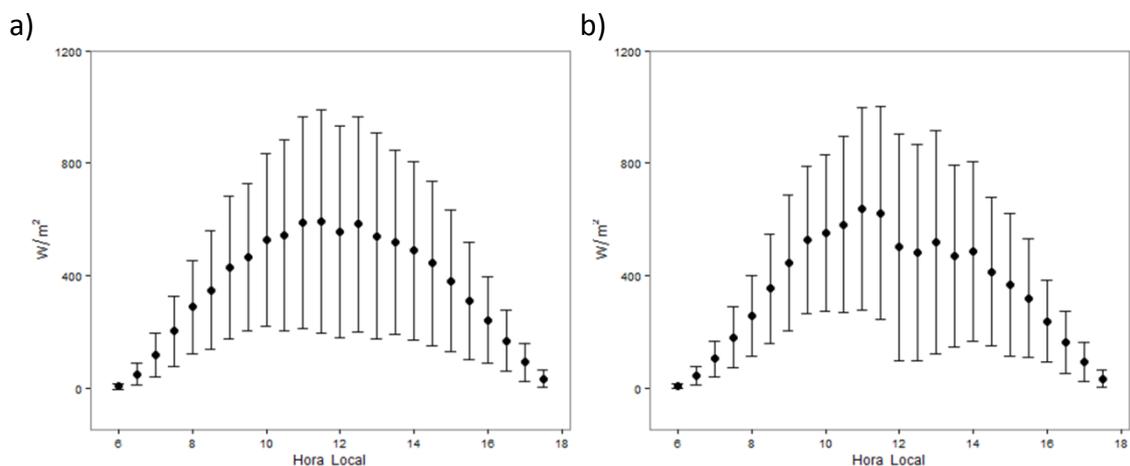


Figura 0.6 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Abril de: (a) 2014 e (b) 2015.

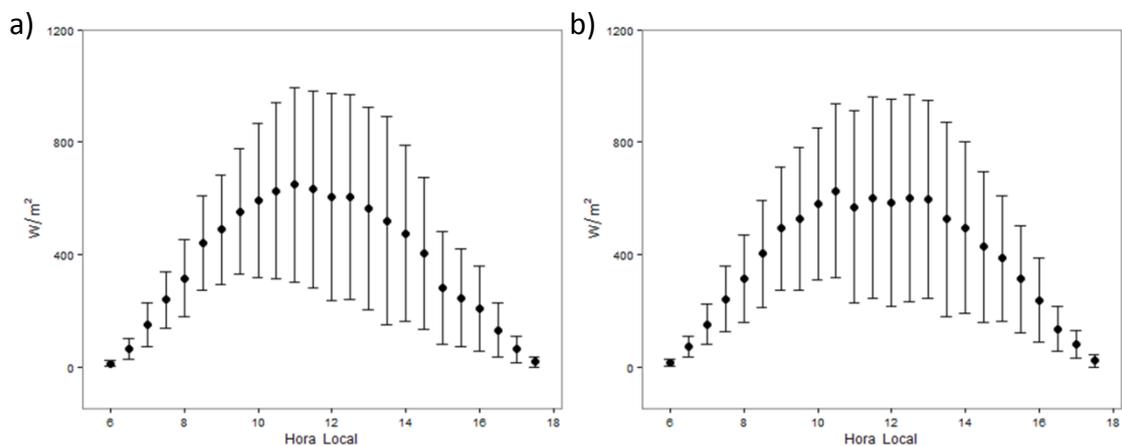


Figura 0.7 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Maio de: (a) 2014 e (b) 2015.

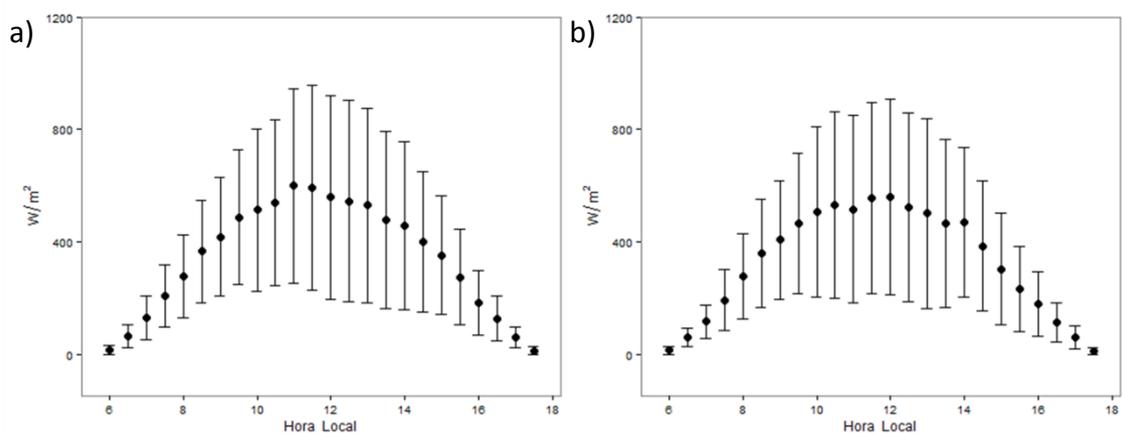


Figura 0.8 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Junho de: (a) 2014 e (b) 2015.

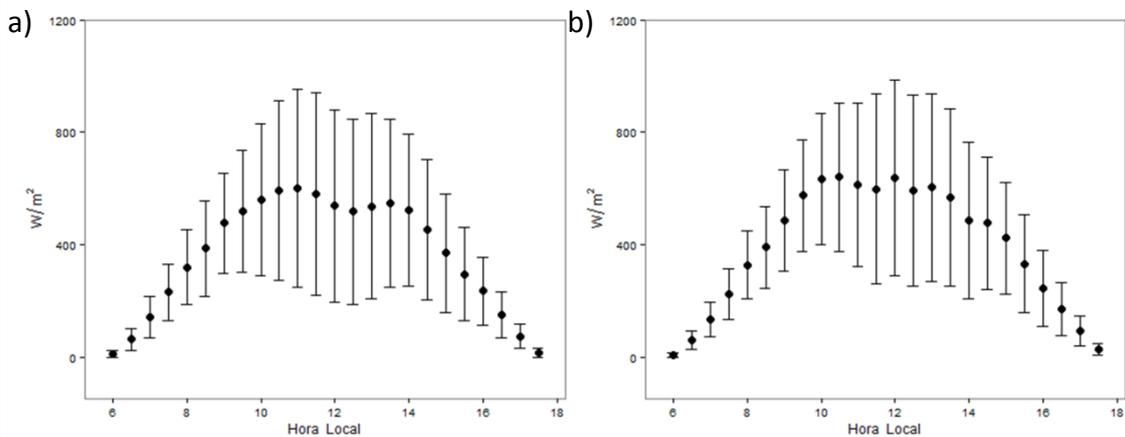


Figura 0.9 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Julho de: (a) 2014 e (b) 2015.

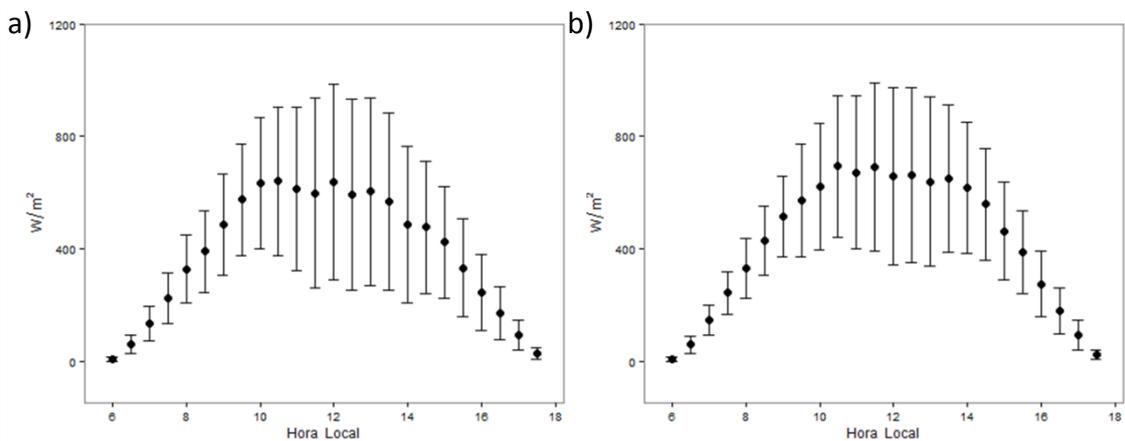


Figura 0.10 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Agosto de: (a) 2014 e (b) 2015.

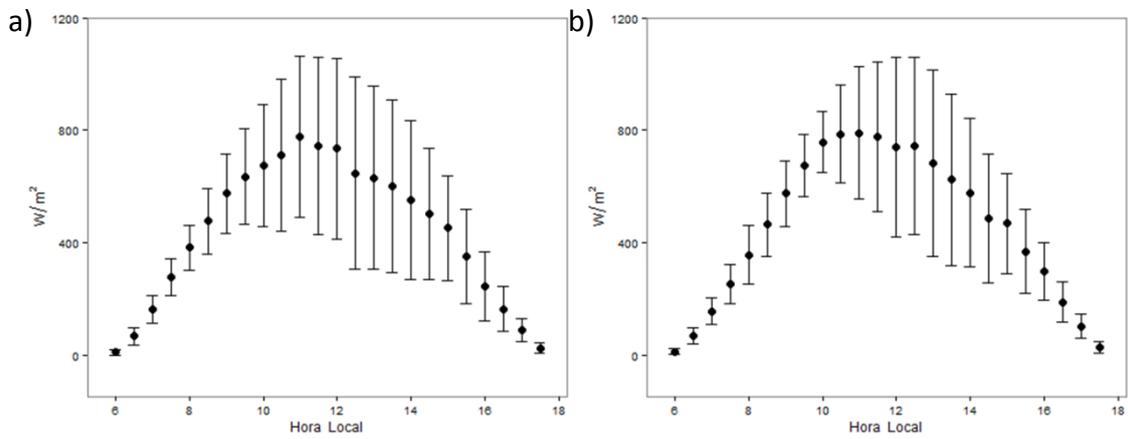


Figura 0.11 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Outubro de 2014 e 2015.

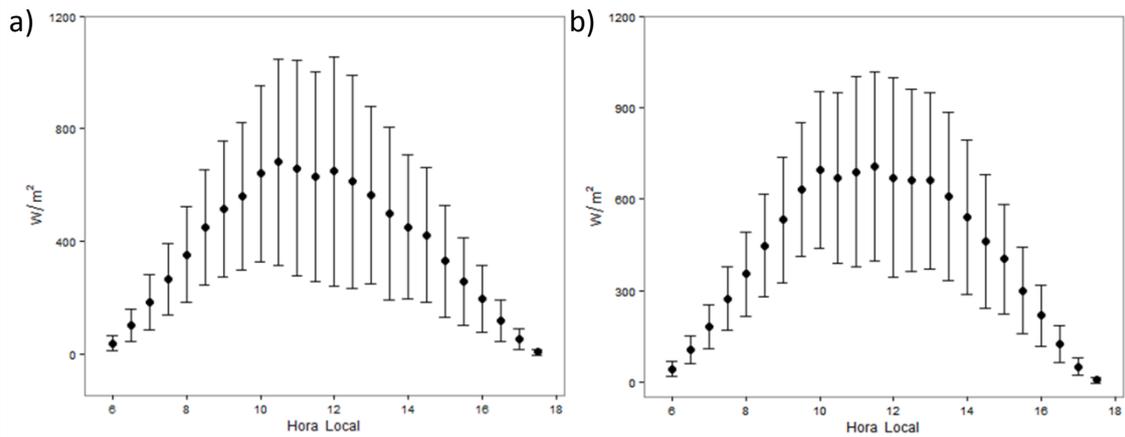


Figura 0.12 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Novembro de: (a) 2014 e (b) 2015.

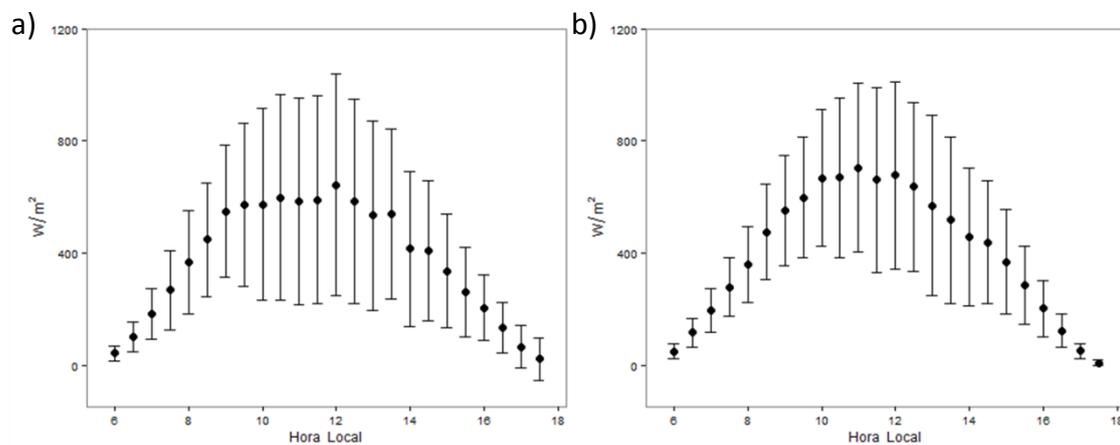


Figura 0.13 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Dezembro de 2014.

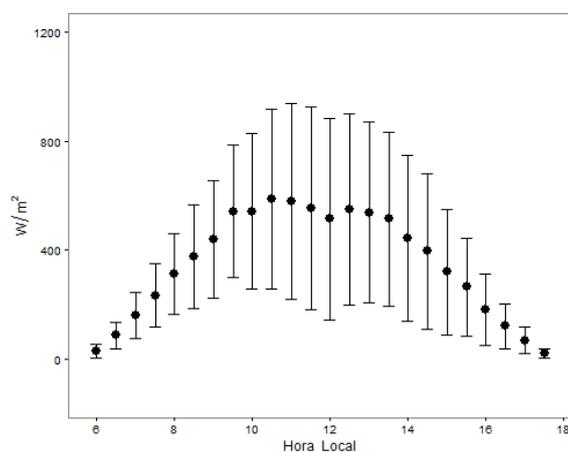


Tabela B.1 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Janeiro de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Hora Local	Média e desvio padrão
06:00-6:29	9 ±9	100	10 ±11	97
06:30-7:59	44 ±26	100	55 ±31	97
7:00-7:29	109 ±63	100	135 ±63	97
7:30-7:59	190 ±112	100	212 ±96	97
8:00-8:29	277 ±146	100	306 ±134	97
8:30-9:59	354 ±177	100	372 ±172	97
9:00-9:29	440 ±210	100	435 ±200	97
9:30-9:59	520 ±237	100	505 ±242	97
10:00-10:29	590 ±254	100	491 ±256	97
10:30-10:59	616 ±305	100	499 ±312	97
11:00-11:29	664 ±321	100	544 ±335	97
11:30-11:59	645 ±347	100	475 ±330	97
12:00-12:29	641 ±352	100	449 ±357	97
12:30-12:59	654 ±338	100	466 ±334	97
13:00-13:29	640 ±344	100	488 ±367	97
13:30-13:59	554 ±309	100	513 ±353	97
14:00-14:29	524 ±294	100	488 ±342	97
14:30-14:59	478 ±255	100	405 ±296	97
15:00-15:29	435 ±221	100	301 ±241	97
15:30-15:59	327 ±192	100	258 ±207	97
16:00-16:29	248 ±142	99	198 ±151	97
16:30-16:59	190 ±105	97	146 ±117	97
17:00-17:29	101 ±66	99	93 ±88	97
17:30-17:59	40 ±31	100	43 ±61	97

Tabela B.2 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Março de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	6 ±10	100	6 ±9	100
06:30-7:59	49 ±39	100	43 ±33	100
7:00-7:29	118 ±78	100	103 ±62	100
7:30-7:59	202 ±124	100	180 ±109	100
8:00-8:29	287 ±167	100	256 ±143	100
8:30-9:59	348 ±212	100	353 ±196	100
9:00-9:29	428 ±255	100	443 ±242	100
9:30-9:59	466 ±263	100	526 ±262	100
10:00-10:29	528 ±307	100	553 ±278	100
10:30-10:59	542 ±339	100	582 ±312	100
11:00-11:29	587 ±376	100	637 ±362	100
11:30-11:59	591 ±398	100	622 ±380	100
12:00-12:29	557 ±378	100	501 ±402	100
12:30-12:59	582 ±384	100	482 ±384	100
13:00-13:29	540 ±367	100	517 ±398	100
13:30-13:59	518 ±327	100	470 ±325	100
14:00-14:29	489 ±316	100	486 ±320	100
14:30-14:59	443 ±293	100	414 ±264	100
15:00-15:29	381 ±253	100	367 ±253	100
15:30-15:59	310 ±210	100	319 ±211	100
16:00-16:29	242 ±153	100	236 ±145	100
16:30-16:59	167 ±108	100	163 ±110	100
17:00-17:29	92 ±68	100	91 ±69	100
17:30-17:59	33 ±30	100	33 ±29	100

Tabela B.3 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Abril de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	12 ±12	100	14 ±13	100
06:30-7:59	64 ±39	100	71 ±38	100
7:00-7:29	149 ±78	100	152 ±70	100
7:30-7:59	238 ±102	100	241 ±118	100
8:00-8:29	316 ±136	100	315 ±156	100
8:30-9:59	441 ±168	100	404 ±190	100
9:00-9:29	488 ±195	100	493 ±218	100
9:30-9:59	553 ±224	100	527 ±254	100
10:00-10:29	593 ±275	100	579 ±271	100
10:30-10:59	627 ±313	100	627 ±310	100
11:00-11:29	649 ±346	100	570 ±340	100
11:30-11:59	631 ±349	100	602 ±359	100
12:00-12:29	604 ±370	100	584 ±368	100
12:30-12:59	606 ±365	100	599 ±369	100
13:00-13:29	563 ±359	100	596 ±352	100
13:30-13:59	520 ±371	100	526 ±346	100
14:00-14:29	476 ±315	100	496 ±304	100
14:30-14:59	404 ±269	100	427 ±267	100
15:00-15:29	280 ±201	100	386 ±225	100
15:30-15:59	246 ±175	100	312 ±192	100
16:00-16:29	209 ±151	100	237 ±149	100
16:30-16:59	130 ±97	100	135 ±79	100
17:00-17:29	63 ±47	100	80 ±48	100
17:30-17:59	17 ±18	100	21 ±22	100

TabelaB.4 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Maio de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	15 ±15	100	14 ±14	100
06:30-7:59	63 ±41	100	60 ±34	100
7:00-7:29	129 ±76	100	117 ±60	100
7:30-7:59	207 ±110	100	191 ±109	100
8:00-8:29	277 ±146	100	278 ±152	100
8:30-9:59	365 ±183	100	359 ±192	100
9:00-9:29	417 ±211	100	407 ±212	100
9:30-9:59	487 ±239	100	465 ±249	100
10:00-10:29	514 ±289	100	507 ±302	100
10:30-10:59	540 ±295	100	532 ±332	100
11:00-11:29	600 ±346	100	516 ±334	100
11:30-11:59	592 ±364	100	555 ±339	100
12:00-12:29	558 ±361	100	559 ±349	100
12:30-12:59	545 ±359	100	522 ±335	100
13:00-13:29	529 ±346	100	502 ±338	100
13:30-13:59	478 ±315	100	465 ±299	100
14:00-14:29	458 ±299	100	471 ±266	100
14:30-14:59	398 ±250	100	384 ±232	100
15:00-15:29	353 ±210	100	303 ±198	100
15:30-15:59	275 ±171	100	233 ±152	100
16:00-16:29	182 ±114	100	178 ±114	100
16:30-16:59	127 ±79	100	114 ±70	100
17:00-17:29	60 ±38	100	61 ±40	100
17:30-17:59	12 ±15	100	11 ±13	100

Tabela B.5 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Junho de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	11 ±11	100	10 ±12	100
06:30-7:59	63 ±38	100	62 ±36	100
7:00-7:29	141 ±73	100	140 ±56	100
7:30-7:59	230 ±102	100	238 ±85	100
8:00-8:29	319 ±134	100	312 ±124	100
8:30-9:59	386 ±171	100	373 ±171	100
9:00-9:29	477 ±178	100	429 ±203	100
9:30-9:59	519 ±219	100	506 ±238	100
10:00-10:29	560 ±271	100	540 ±269	100
10:30-10:59	591 ±319	100	585 ±294	100
11:00-11:29	601 ±351	100	601 ±314	100
11:30-11:59	579 ±361	100	569 ±336	100
12:00-12:29	538 ±341	100	605 ±349	100
12:30-12:59	517 ±328	100	588 ±345	100
13:00-13:29	537 ±328	100	542 ±335	100
13:30-13:59	547 ±299	100	523 ±300	100
14:00-14:29	522 ±270	100	428 ±279	100
14:30-14:59	454 ±250	100	402 ±234	100
15:00-15:29	370 ±212	100	380 ±179	100
15:30-15:59	295 ±166	100	316 ±143	100
16:00-16:29	234 ±122	100	246 ±108	100
16:30-16:59	149 ±82	100	152 ±76	100
17:00-17:29	73 ±44	100	69 ±41	100
17:30-17:59	16 ±17	100	14 ±15	100

Tabela B.6 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Julho de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	7 ±9	100	8 ±9	97
06:30-7:59	59 ±32	100	58 ±30	97
7:00-7:29	134 ±61	100	147 ±54	97
7:30-7:59	224 ±90	100	243 ±76	97
8:00-8:29	328 ±119	100	330 ±105	97
8:30-9:59	391 ±146	100	429 ±123	97
9:00-9:29	487 ±180	100	514 ±142	97
9:30-9:59	575 ±199	100	572 ±202	97
10:00-10:29	634 ±235	100	622 ±225	97
10:30-10:59	640 ±265	100	693 ±253	97
11:00-11:29	613 ±291	100	672 ±274	97
11:30-11:59	598 ±338	100	691 ±301	97
12:00-12:29	637 ±349	100	658 ±316	97
12:30-12:59	591 ±339	100	662 ±313	97
13:00-13:29	603 ±333	100	639 ±301	97
13:30-13:59	568 ±317	100	651 ±263	97
14:00-14:29	487 ±278	100	615 ±233	97
14:30-14:59	476 ±235	100	558 ±200	97
15:00-15:29	423 ±200	100	463 ±176	97
15:30-15:59	331 ±174	100	388 ±146	97
16:00-16:29	245 ±136	100	275 ±116	97
16:30-16:59	171 ±93	100	179 ±81	97
17:00-17:29	93 ±53	100	92 ±53	97
17:30-17:59	26 ±21	100	23 ±18	97

Tabela B.7 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Agosto de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	10 ±10	100	12 ±11	100
06:30-7:59	67 ±31	100	69 ±29	100
7:00-7:29	160 ±49	100	155 ±47	100
7:30-7:59	277 ±65	100	254 ±70	100
8:00-8:29	383 ±80	100	357 ±103	100
8:30-9:59	477 ±116	100	464 ±114	100
9:00-9:29	574 ±143	100	576 ±117	100
9:30-9:59	635 ±171	100	675 ±110	100
10:00-10:29	674 ±218	100	758 ±109	100
10:30-10:59	712 ±271	100	786 ±175	100
11:00-11:29	777 ±285	100	791 ±234	100
11:30-11:59	746 ±315	100	776 ±267	100
12:00-12:29	734 ±322	100	739 ±320	100
12:30-12:59	647 ±342	100	744 ±317	100
13:00-13:29	631 ±326	100	682 ±332	100
13:30-13:59	600 ±306	100	623 ±304	100
14:00-14:29	552 ±284	100	578 ±264	100
14:30-14:59	502 ±233	100	486 ±231	100
15:00-15:29	452 ±188	100	469 ±178	100
15:30-15:59	352 ±168	100	368 ±149	100
16:00-16:29	243 ±123	100	297 ±102	100
16:30-16:59	164 ±81	100	189 ±72	100
17:00-17:29	87 ±41	100	101 ±43	100
17:30-17:59	24 ±19	100	27 ±20	100

Tabela B.8 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Outubro de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	37 ±26	100	43 ±25	100
06:30-7:59	101 ±57	100	107 ±46	100
7:00-7:29	183 ±97	100	183 ±72	100
7:30-7:59	266 ±128	100	273 ±104	100
8:00-8:29	352 ±171	100	354 ±139	100
8:30-9:59	449 ±205	100	448 ±169	100
9:00-9:29	515 ±243	100	533 ±206	100
9:30-9:59	559 ±263	100	631 ±219	100
10:00-10:29	640 ±313	100	696 ±256	100
10:30-10:59	681 ±367	100	670 ±280	100
11:00-11:29	659 ±383	100	690 ±311	100
11:30-11:59	629 ±372	100	707 ±311	100
12:00-12:29	648 ±407	100	671 ±326	100
12:30-12:59	613 ±379	100	662 ±299	100
13:00-13:29	563 ±316	100	660 ±290	100
13:30-13:59	500 ±307	100	609 ±276	100
14:00-14:29	450 ±255	100	540 ±254	100
14:30-14:59	421 ±239	100	461 ±220	100
15:00-15:29	330 ±199	100	403 ±181	100
15:30-15:59	257 ±157	100	299 ±142	100
16:00-16:29	194 ±118	100	218 ±100	100
16:30-16:59	117 ±72	100	124 ±62	100
17:00-17:29	51 ±37	100	51 ±28	100
17:30-17:59	6 ±10	100	7 ±10	100

Tabela B.9 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Novembro de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	42 ±25	100	48 ±27	100
06:30-7:59	100 ±53	100	116 ±51	100
7:00-7:29	183 ±90	100	196 ±78	100
7:30-7:59	267 ±142	100	279 ±105	100
8:00-8:29	368 ±183	100	359 ±135	100
8:30-9:59	447 ±202	100	474 ±171	100
9:00-9:29	549 ±236	100	552 ±196	100
9:30-9:59	571 ±291	100	597 ±215	100
10:00-10:29	572 ±342	100	668 ±243	100
10:30-10:59	599 ±365	100	669 ±286	100
11:00-11:29	585 ±369	100	704 ±301	100
11:30-11:59	589 ±371	100	660 ±329	100
12:00-12:29	642 ±395	100	677 ±333	100
12:30-12:59	585 ±363	100	636 ±302	100
13:00-13:29	534 ±338	100	569 ±321	100
13:30-13:59	539 ±303	100	518 ±297	100
14:00-14:29	415 ±277	100	457 ±247	100
14:30-14:59	407 ±251	100	438 ±219	100
15:00-15:29	336 ±204	100	368 ±187	100
15:30-15:59	261 ±160	100	284 ±140	100
16:00-16:29	204 ±117	100	203 ±101	100
16:30-16:59	134 ±92	100	122 ±59	100
17:00-17:29	66 ±77	100	50 ±28	100
17:30-17:59	22 ±75	100	8 ±10	100

Tabela B.10– Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar global de Dezembro de 2014.

Hora Local	Média e desvio padrão	Amostra
	(W/m <sup>2</sup> )	(%)
06:00-6:29	29 ±26	100
06:30-7:59	87 ±49	100
7:00-7:29	159 ±83	100
7:30-7:59	233 ±117	100
8:00-8:29	312 ±150	100
8:30-9:59	376 ±192	100
9:00-9:29	440 ±215	100
9:30-9:59	542 ±244	100
10:00-10:29	542 ±286	100
10:30-10:59	586 ±331	100
11:00-11:29	579 ±360	100
11:30-11:59	553 ±373	100
12:00-12:29	514 ±371	100
12:30-12:59	548 ±352	100
13:00-13:29	537 ±333	100
13:30-13:59	514 ±321	100
14:00-14:29	443 ±305	100
14:30-14:59	395 ±285	100
15:00-15:29	320 ±231	100
15:30-15:59	264 ±181	100
16:00-16:29	181 ±130	100
16:30-16:59	119 ±82	100
17:00-17:29	68 ±47	100
17:30-17:59	19 ±18	100

## **APÊNDICE C**

Este apêndice tem o objetivo fazer uma análise complementar ao que foi discutido no capítulo de irradiância solar (Capítulo 4.1.3.2), onde se discutiu as médias mensais e valores típicos médios e de desvio padrão do ciclo diário de um mês seco e outro chuvoso, em 2014 e 2015. Aqui serão apresentadas as diferenças entre valores médios mensais entre 2014 e 2015 e os valores médios mensais do ciclo diário da irradiância solar difusa (de Janeiro de 2014 a Novembro de 2015) com os seus desvios padrões.

### **C.1 Diferença entre os valores médios mensais horários da irradiância solar difusa de 2014 e 2015**

Observou-se que durante o período chuvoso, a irradiância difusa esteve superior na maioria dos horários de 2014 (Janeiro, Fevereiro e Abril) ou com diferenças muito próximas do zero (Março, Maio e Julho). No período seco, de julho a Setembro, 2014 foi superior também e em Outubro e Novembro, 2015 foi maior. As maiores diferenças ficaram próximas de  $100 \text{ Wm}^{-2}$  e ocorreram entre 8 e 16 horas.

Figura 0.1 – Ciclo diário da variabilidade temporal da irradiância solar difusa média, nos meses de (a) Janeiro, (b) Fevereiro, (c) Março e (d) Abril.

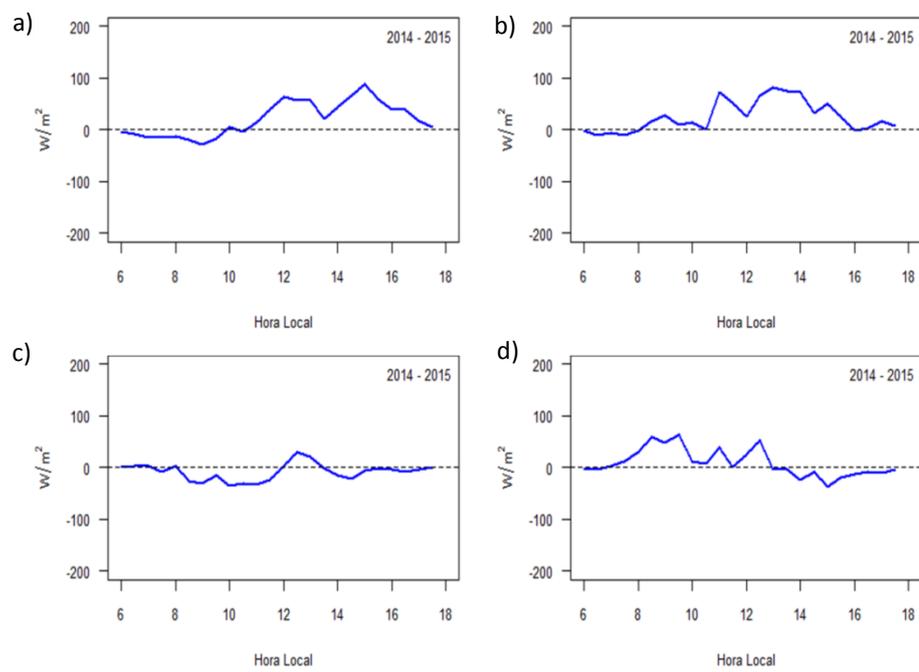


Figura 0.2 – Ciclo diário da variabilidade temporal da irradiância solar difusa média, nos meses de (a) Maio, (b) Junho, (c) Julho e (d) Agosto.

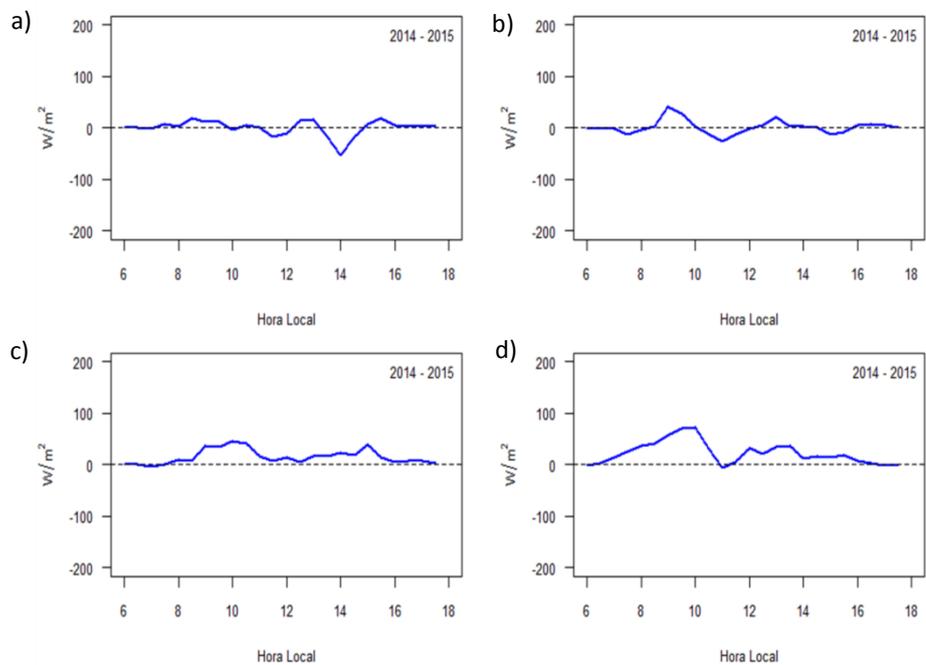
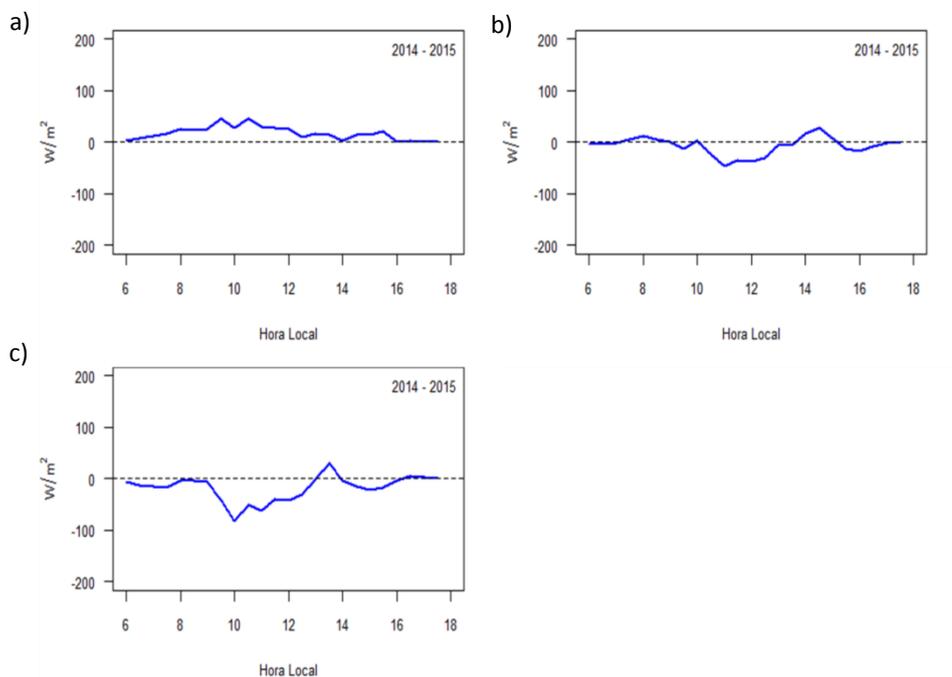


Figura 0.3 – Ciclo diário da variabilidade temporal da irradiância solar difusa média, nos meses de (a) Setembro, (b) Outubro e (c) Novembro.



### C.2 Valores médios mensais horários e seus desvios padrões da irradiância solar difusa no ciclo diário de 2014 e 2015.

Figura 0.4 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Janeiro de: (a) 2014 e (b) 2015.

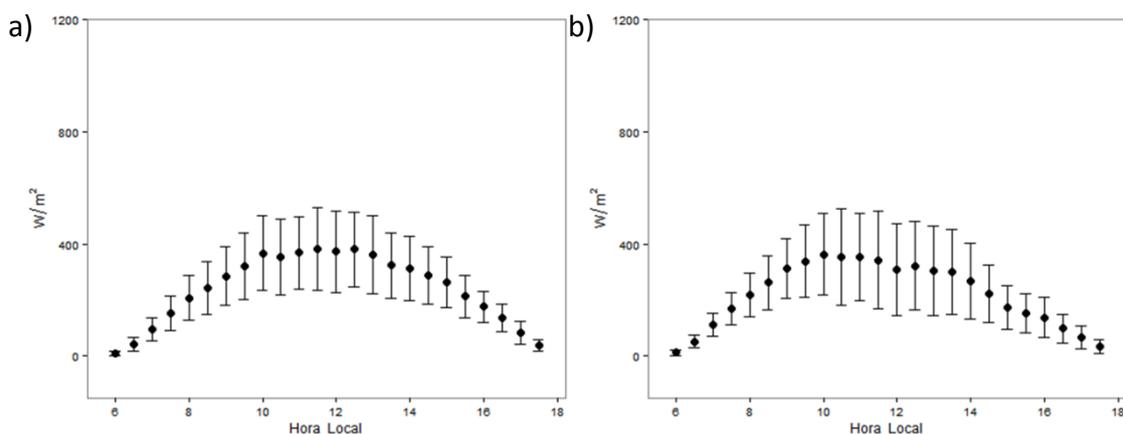


Figura 0.5 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Março de: (a) 2014 e (b) 2015.

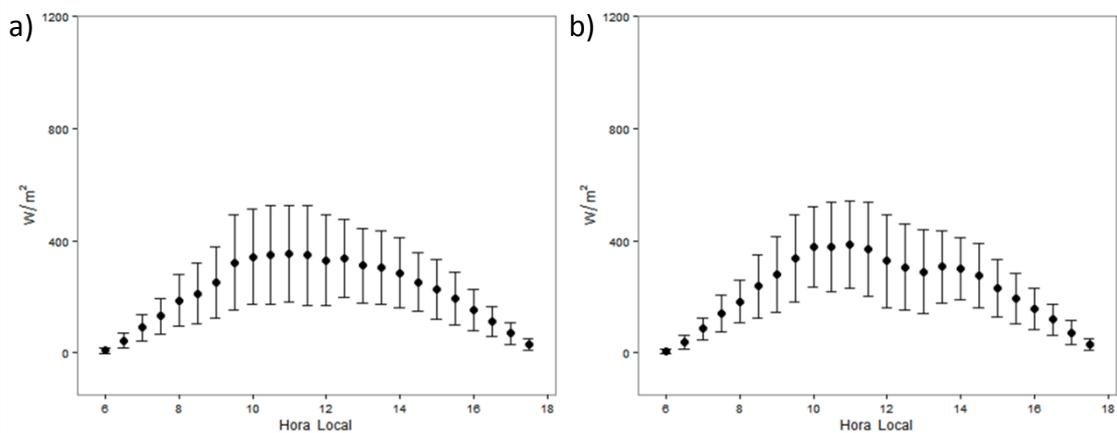


Figura 0.6 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Abril de: (a) 2014 e (b) 2015.

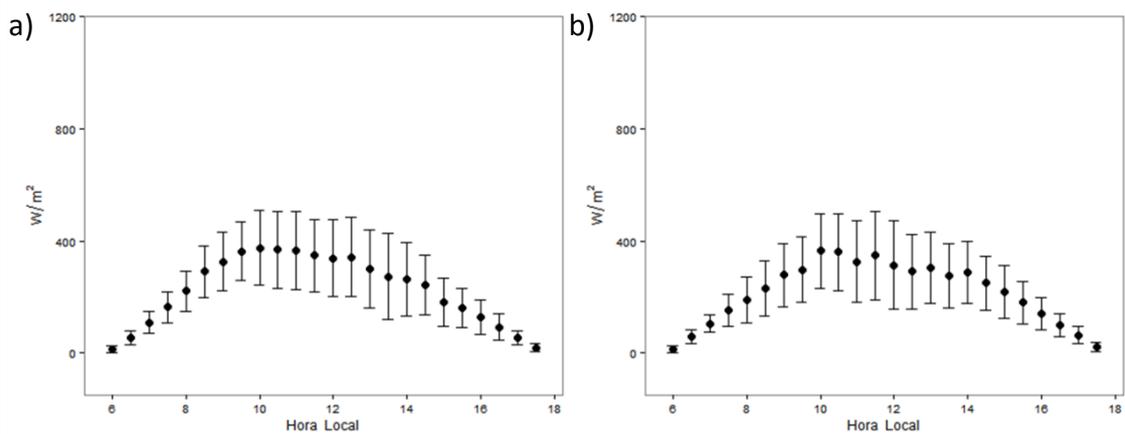


Figura 0.7 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Maio de: (a) 2014 e (b) 2015.

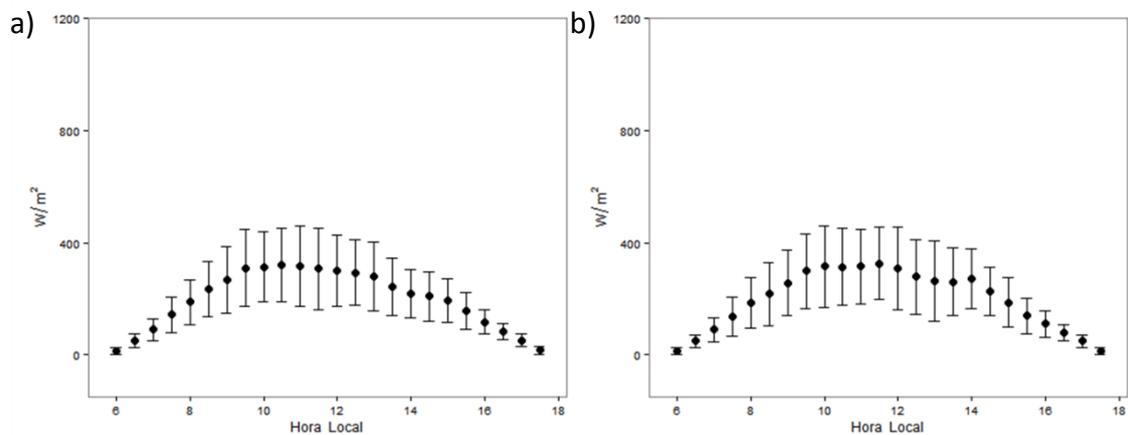


Figura 0.8 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Junho de: (a) 2014 e (b) 2015.

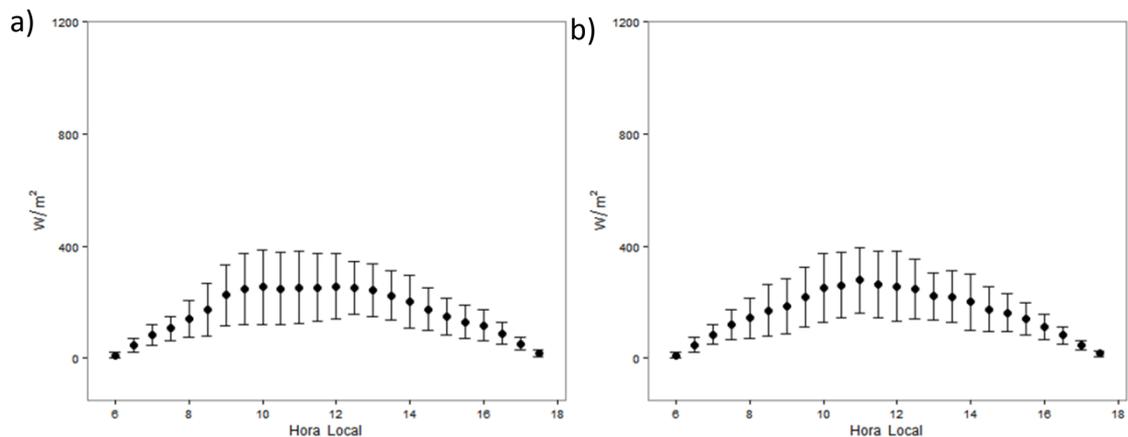


Figura 0.9 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Julho de: (a) 2014 e (b) 2015.

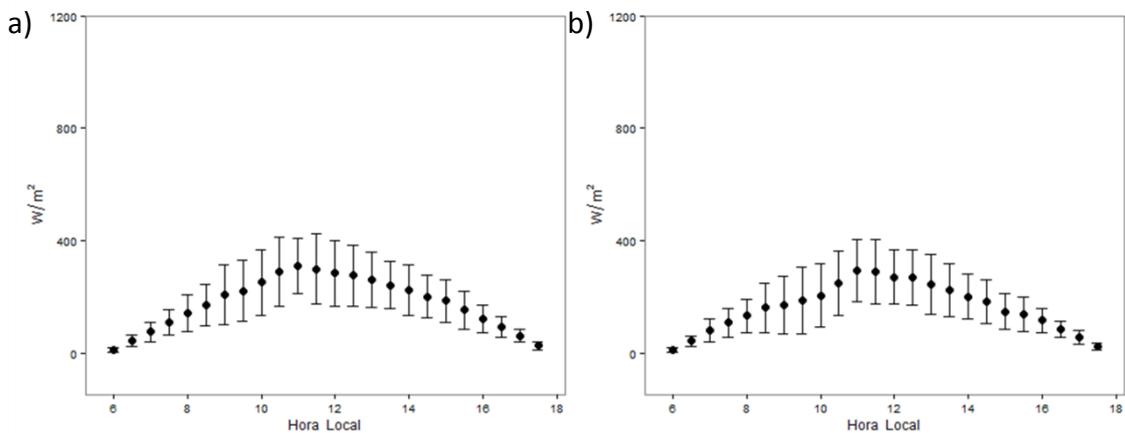


Figura 0.10 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Agosto de: (a) 2014 e (b) 2015.

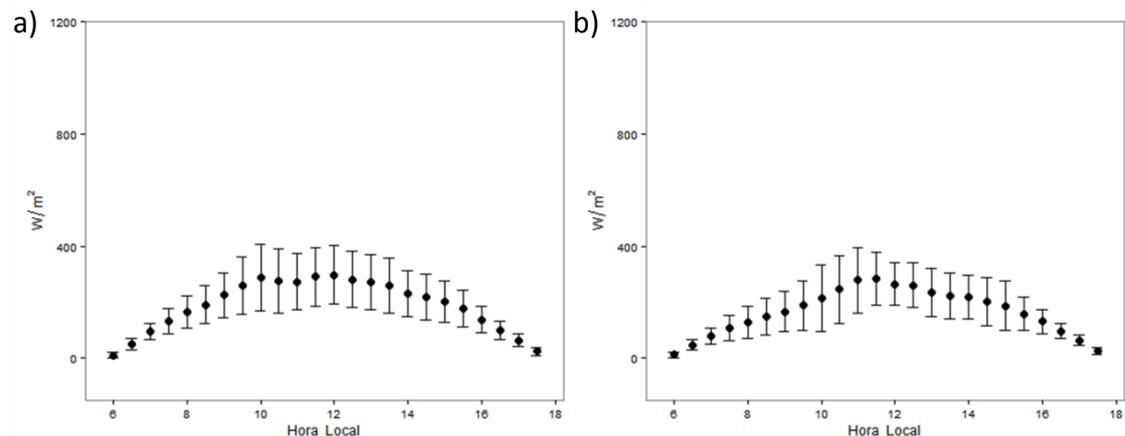


Figura 0.11 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Outubro de: (a) 2014 e (b) 2015.

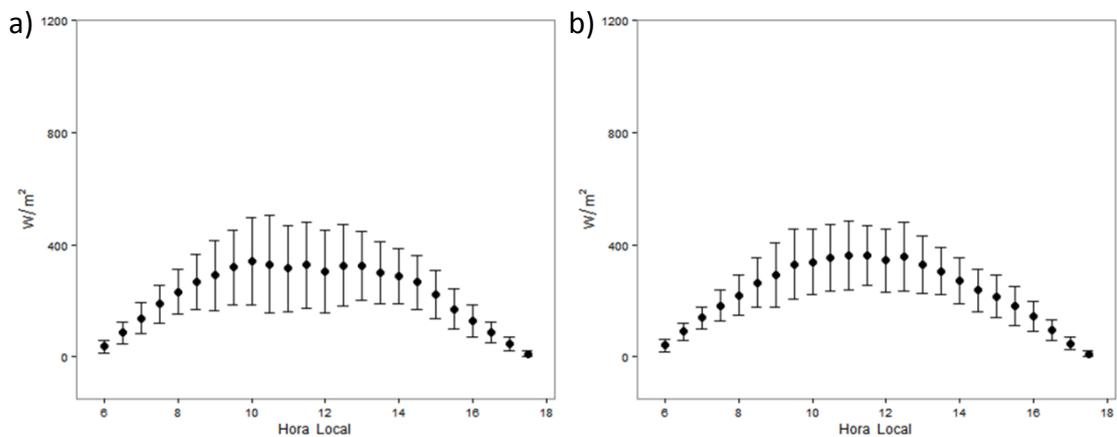


Figura 0.12 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Novembro de: (a) 2014 e (b) 2015.

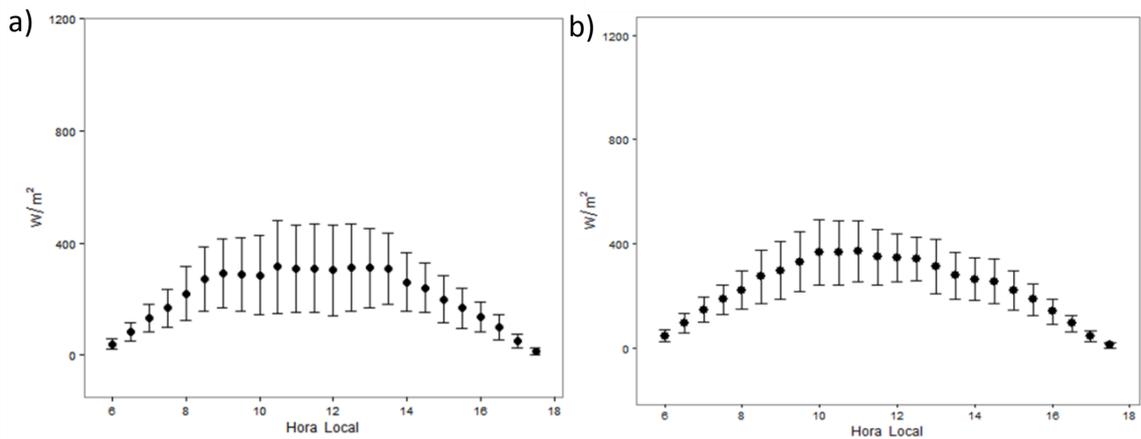


Figura 0.13 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Dezembro de 2014.

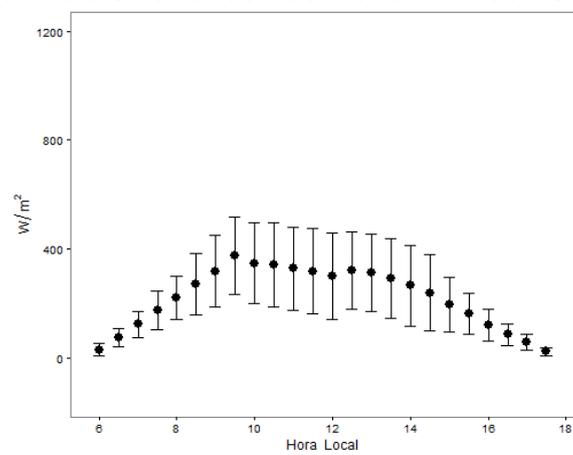


Tabela C.1 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Janeiro de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	10 ±9	100	13 ±10	100
06:30-7:59	44 ±24	100	53 ±23	100
7:00-7:29	97 ±42	100	112 ±41	100
7:30-7:59	153 ±62	100	169 ±57	100
8:00-8:29	207 ±79	100	219 ±78	100
8:30-9:59	243 ±95	100	262 ±97	100
9:00-9:29	285 ±105	100	314 ±107	100
9:30-9:59	321 ±118	100	338 ±129	100
10:00-10:29	367 ±132	100	363 ±144	100
10:30-10:59	352 ±135	100	355 ±171	100
11:00-11:29	368 ±128	100	354 ±155	100
11:30-11:59	381 ±146	100	342 ±175	100
12:00-12:29	373 ±145	100	309 ±164	100
12:30-12:59	380 ±133	100	322 ±156	100
13:00-13:29	361 ±138	100	304 ±158	100
13:30-13:59	323 ±117	100	302 ±151	100
14:00-14:29	312 ±115	100	267 ±136	100
14:30-14:59	288 ±101	100	221 ±101	100
15:00-15:29	263 ±89	100	173 ±77	100
15:30-15:59	213 ±75	100	154 ±70	100
16:00-16:29	176 ±54	100	138 ±71	100
16:30-16:59	137 ±49	100	98 ±53	100
17:00-17:29	84 ±39	100	67 ±41	100
17:30-17:59	40 ±20	100	35 ±26	100

Tabela C.2 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Março de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	8 ±9	100	8 ±8	97
06:30-7:59	44 ±27	100	40 ±25	97
7:00-7:29	90 ±46	100	86 ±40	97
7:30-7:59	133 ±63	100	141 ±64	97
8:00-8:29	187 ±92	100	183 ±74	97
8:30-9:59	212 ±108	100	238 ±112	97
9:00-9:29	250 ±126	100	281 ±135	97
9:30-9:59	323 ±170	100	336 ±154	97
10:00-10:29	342 ±168	100	377 ±143	97
10:30-10:59	349 ±176	100	379 ±160	97
11:00-11:29	353 ±173	100	385 ±154	97
11:30-11:59	347 ±179	100	371 ±168	97
12:00-12:29	330 ±161	100	327 ±165	97
12:30-12:59	337 ±137	100	306 ±154	97
13:00-13:29	311 ±134	100	290 ±148	97
13:30-13:59	306 ±130	100	307 ±129	97
14:00-14:29	286 ±125	100	300 ±111	97
14:30-14:59	252 ±104	100	275 ±114	97
15:00-15:29	227 ±105	100	231 ±102	97
15:30-15:59	192 ±94	100	194 ±90	97
16:00-16:29	153 ±74	100	157 ±74	97
16:30-16:59	112 ±54	100	119 ±55	97
17:00-17:29	71 ±39	100	73 ±41	97
17:30-17:59	31 ±21	100	31 ±20	97

Tabela C.3 – Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Abril de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	14 ±11	97	16 ±12	90
06:30-7:59	55 ±23	97	60 ±23	90
7:00-7:29	109 ±39	97	106 ±31	90
7:30-7:59	164 ±56	97	153 ±57	90
8:00-8:29	221 ±72	97	190 ±83	90
8:30-9:59	291 ±93	97	231 ±97	90
9:00-9:29	326 ±105	97	278 ±113	90
9:30-9:59	362 ±104	97	298 ±117	90
10:00-10:29	375 ±131	97	364 ±132	90
10:30-10:59	369 ±136	97	360 ±137	90
11:00-11:29	365 ±139	97	326 ±144	90
11:30-11:59	349 ±129	97	347 ±156	90
12:00-12:29	339 ±137	97	314 ±156	90
12:30-12:59	342 ±141	97	290 ±132	90
13:00-13:29	301 ±139	97	304 ±127	90
13:30-13:59	272 ±153	97	276 ±114	90
14:00-14:29	264 ±130	97	287 ±111	90
14:30-14:59	242 ±107	97	250 ±96	90
15:00-15:29	182 ±85	97	219 ±93	90
15:30-15:59	161 ±69	97	181 ±76	90
16:00-16:29	129 ±60	97	142 ±57	90
16:30-16:59	93 ±46	97	101 ±41	90
17:00-17:29	54 ±26	97	65 ±30	90
17:30-17:59	20 ±14	97	23 ±17	90

Tabela C.4 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Maio de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	16 ±12	100	15 ±12	100
06:30-7:59	51 ±25	100	49 ±22	100
7:00-7:29	90 ±40	100	91 ±42	100
7:30-7:59	144 ±62	100	135 ±70	100
8:00-8:29	188 ±78	100	185 ±90	100
8:30-9:59	235 ±98	100	218 ±113	100
9:00-9:29	268 ±120	100	257 ±118	100
9:30-9:59	310 ±136	100	299 ±133	100
10:00-10:29	313 ±125	100	316 ±145	100
10:30-10:59	321 ±132	100	314 ±139	100
11:00-11:29	317 ±143	100	315 ±132	100
11:30-11:59	308 ±145	100	325 ±129	100
12:00-12:29	300 ±126	100	310 ±147	100
12:30-12:59	292 ±117	100	279 ±133	100
13:00-13:29	280 ±124	100	263 ±142	100
13:30-13:59	243 ±104	100	261 ±119	100
14:00-14:29	220 ±86	100	272 ±106	100
14:30-14:59	209 ±89	100	225 ±86	100
15:00-15:29	193 ±79	100	187 ±87	100
15:30-15:59	158 ±65	100	139 ±62	100
16:00-16:29	117 ±43	100	112 ±47	100
16:30-16:59	84 ±28	100	80 ±30	100
17:00-17:29	52 ±23	100	49 ±22	100
17:30-17:59	16 ±13	100	14 ±11	100

Tabela C.5– Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Junho de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	12 ±10	100	12 ±11	100
06:30-7:59	46 ±23	100	48 ±26	100
7:00-7:29	83 ±38	100	85 ±35	100
7:30-7:59	106 ±44	100	119 ±52	100
8:00-8:29	141 ±65	100	143 ±70	100
8:30-9:59	173 ±93	100	170 ±91	100
9:00-9:29	226 ±109	100	184 ±98	100
9:30-9:59	247 ±127	100	219 ±107	100
10:00-10:29	255 ±132	100	252 ±123	100
10:30-10:59	248 ±129	100	260 ±117	100
11:00-11:29	253 ±129	100	279 ±116	100
11:30-11:59	253 ±119	100	264 ±118	100
12:00-12:29	257 ±117	100	257 ±125	100
12:30-12:59	251 ±94	100	246 ±106	100
13:00-13:29	242 ±94	100	222 ±84	100
13:30-13:59	224 ±87	100	220 ±93	100
14:00-14:29	203 ±93	100	201 ±101	100
14:30-14:59	175 ±75	100	175 ±81	100
15:00-15:29	150 ±64	100	163 ±66	100
15:30-15:59	130 ±58	100	139 ±57	100
16:00-16:29	118 ±54	100	113 ±45	100
16:30-16:59	90 ±37	100	83 ±30	100
17:00-17:29	53 ±23	100	48 ±15	100
17:30-17:59	18 ±13	100	16 ±10	100

Tabela C.6 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Julho de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	9 ±8	100	9 ±8	97
06:30-7:59	43 ±19	100	41 ±19	97
7:00-7:29	76 ±34	100	80 ±40	97
7:30-7:59	109 ±46	100	108 ±51	97
8:00-8:29	141 ±66	100	132 ±59	97
8:30-9:59	170 ±76	100	162 ±88	97
9:00-9:29	206 ±106	100	169 ±102	97
9:30-9:59	220 ±108	100	186 ±118	97
10:00-10:29	251 ±118	100	205 ±113	97
10:30-10:59	289 ±125	100	249 ±114	97
11:00-11:29	310 ±99	100	293 ±112	97
11:30-11:59	298 ±125	100	290 ±115	97
12:00-12:29	284 ±117	100	270 ±96	97
12:30-12:59	276 ±108	100	269 ±100	97
13:00-13:29	260 ±100	100	243 ±107	97
13:30-13:59	242 ±84	100	224 ±96	97
14:00-14:29	224 ±90	100	201 ±79	97
14:30-14:59	201 ±75	100	182 ±77	97
15:00-15:29	185 ±75	100	147 ±65	97
15:30-15:59	153 ±67	100	138 ±62	97
16:00-16:29	121 ±51	100	116 ±44	97
16:30-16:59	93 ±38	100	84 ±29	97
17:00-17:29	62 ±24	100	55 ±24	97
17:30-17:59	26 ±14	100	23 ±12	97

Tabela C.7 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Agosto de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	12 ±9	100	12 ±10	100
06:30-7:59	52 ±20	100	48 ±18	100
7:00-7:29	95 ±29	100	80 ±28	100
7:30-7:59	134 ±44	100	107 ±44	100
8:00-8:29	165 ±59	100	128 ±56	100
8:30-9:59	191 ±67	100	149 ±64	100
9:00-9:29	225 ±81	100	167 ±70	100
9:30-9:59	259 ±103	100	188 ±87	100
10:00-10:29	287 ±119	100	214 ±118	100
10:30-10:59	277 ±115	100	246 ±121	100
11:00-11:29	273 ±100	100	279 ±116	100
11:30-11:59	292 ±104	100	285 ±94	100
12:00-12:29	297 ±103	100	265 ±76	100
12:30-12:59	282 ±100	100	261 ±79	100
13:00-13:29	271 ±98	100	235 ±86	100
13:30-13:59	259 ±97	100	222 ±83	100
14:00-14:29	229 ±82	100	218 ±77	100
14:30-14:59	220 ±81	100	202 ±85	100
15:00-15:29	202 ±74	100	187 ±89	100
15:30-15:59	177 ±65	100	158 ±60	100
16:00-16:29	139 ±48	100	131 ±41	100
16:30-16:59	101 ±33	100	98 ±27	100
17:00-17:29	65 ±21	100	65 ±20	100
17:30-17:59	25 ±14	100	26 ±14	100

Tabela C.8 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Outubro de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	38 ±22	100	41 ±21	100
06:30-7:59	87 ±39	100	90 ±29	100
7:00-7:29	139 ±53	100	139 ±39	100
7:30-7:59	189 ±67	100	183 ±55	97
8:00-8:29	232 ±80	100	220 ±70	97
8:30-9:59	269 ±98	100	265 ±87	98
9:00-9:29	292 ±125	100	290 ±114	100
9:30-9:59	319 ±133	100	331 ±126	100
10:00-10:29	341 ±155	100	339 ±116	100
10:30-10:59	330 ±175	100	354 ±119	100
11:00-11:29	315 ±153	100	361 ±122	100
11:30-11:59	327 ±153	100	361 ±106	100
12:00-12:29	306 ±148	100	344 ±111	100
12:30-12:59	327 ±145	100	357 ±122	100
13:00-13:29	324 ±122	100	330 ±103	100
13:30-13:59	299 ±111	100	305 ±85	100
14:00-14:29	289 ±99	100	273 ±81	100
14:30-14:59	266 ±96	100	239 ±75	100
15:00-15:29	223 ±87	100	216 ±75	100
15:30-15:59	170 ±71	100	182 ±69	100
16:00-16:29	127 ±57	100	145 ±53	100
16:30-16:59	88 ±37	100	96 ±37	100
17:00-17:29	47 ±26	100	49 ±21	100
17:30-17:59	10 ±10	100	11 ±10	100

Tabela C.9 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Novembro de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	40 ±19	92	46 ±23	100
06:30-7:59	83 ±31	92	96 ±36	100
7:00-7:29	133 ±48	92	148 ±49	100
7:30-7:59	169 ±67	92	186 ±55	100
8:00-8:29	220 ±95	92	223 ±73	100
8:30-9:59	271 ±115	92	273 ±102	100
9:00-9:29	292 ±121	92	298 ±110	100
9:30-9:59	288 ±131	92	331 ±115	100
10:00-10:29	286 ±142	92	367 ±126	100
10:30-10:59	315 ±165	92	366 ±124	100
11:00-11:29	309 ±155	92	370 ±117	100
11:30-11:59	309 ±157	92	349 ±107	100
12:00-12:29	302 ±160	92	345 ±93	100
12:30-12:59	312 ±154	92	343 ±85	100
13:00-13:29	311 ±140	92	313 ±106	100
13:30-13:59	309 ±128	92	279 ±89	100
14:00-14:29	261 ±103	92	263 ±81	100
14:30-14:59	240 ±88	92	256 ±86	100
15:00-15:29	200 ±82	92	222 ±75	100
15:30-15:59	167 ±70	92	186 ±60	100
16:00-16:29	137 ±54	92	140 ±48	100
16:30-16:59	99 ±45	92	94 ±32	100
17:00-17:29	50 ±25	92	47 ±21	100
17:30-17:59	13 ±11	92	11 ±10	100

Tabela C.10 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar difusa de Dezembro de 2014.

Hora Local	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	30 ±23	100
06:30-7:59	76 ±32	100
7:00-7:29	124 ±48	100
7:30-7:59	175 ±71	100
8:00-8:29	222 ±80	100
8:30-9:59	271 ±113	100
9:00-9:29	319 ±132	100
9:30-9:59	376 ±141	100
10:00-10:29	348 ±148	100
10:30-10:59	344 ±155	100
11:00-11:29	328 ±154	100
11:30-11:59	318 ±155	100
12:00-12:29	298 ±159	100
12:30-12:59	322 ±143	100
13:00-13:29	314 ±142	100
13:30-13:59	294 ±146	100
14:00-14:29	265 ±147	100
14:30-14:59	240 ±140	100
15:00-15:29	196 ±102	100
15:30-15:59	161 ±75	100
16:00-16:29	119 ±59	100
16:30-16:59	86 ±40	100
17:00-17:29	58 ±29	100
17:30-17:59	23 ±16	100

## APÊNDICE D

Este apêndice tem o objetivo fazer uma análise complementar ao que foi discutido no capítulo de irradiância solar (Capítulo 4.1.3.3), onde se discutiu as médias mensais e valores típicos médios e de desvio padrão do ciclo diário do um mês seco e outro chuvoso, em 2014 e 2015. Aqui serão apresentadas as diferenças entre valores médios mensais entre 2014 e 2015 e os valores médios mensais do ciclo diário da irradiância solar direta (de Janeiro de 2014 a Novembro de 2015) com os seus desvios padrões.

### D.1 Diferença entre os valores médios mensais horários da irradiância solar direta de 2014 e 2015

Figura 0.1 - Ciclo diário da variabilidade temporal da irradiância solar direta média, nos meses de (a) Janeiro, (b) Fevereiro, (c) Março e (d) Abril.

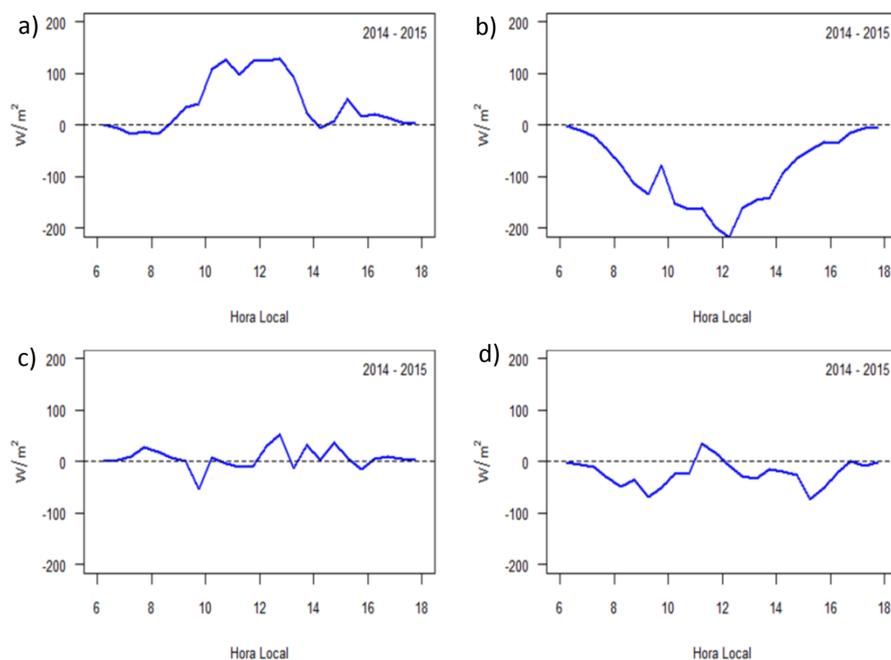


Figura 0.2 - Ciclo diário da variabilidade temporal da irradiância solar direta média, nos meses de (a) Maio, (b) Julho, (c) julho e (d) Agosto.

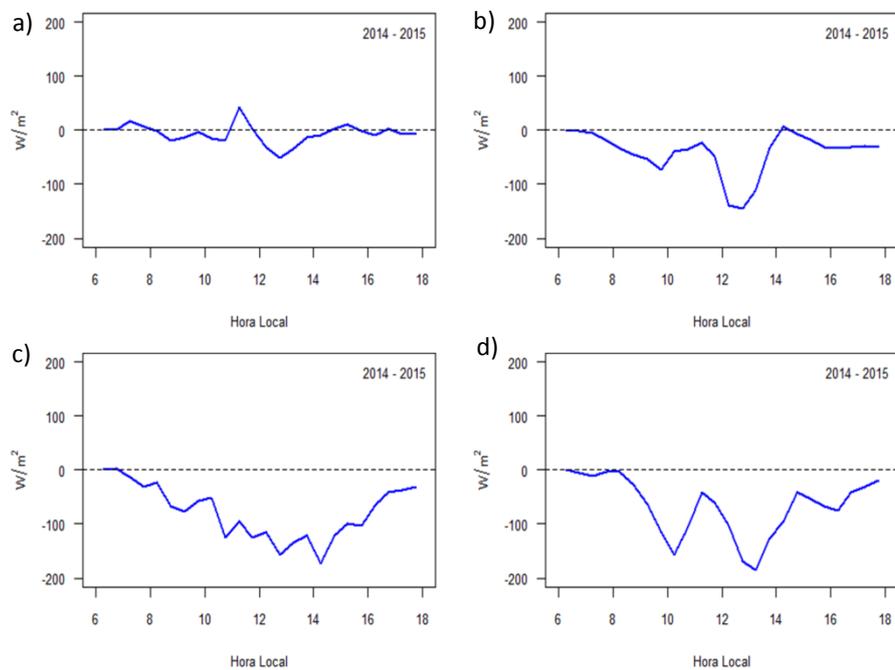
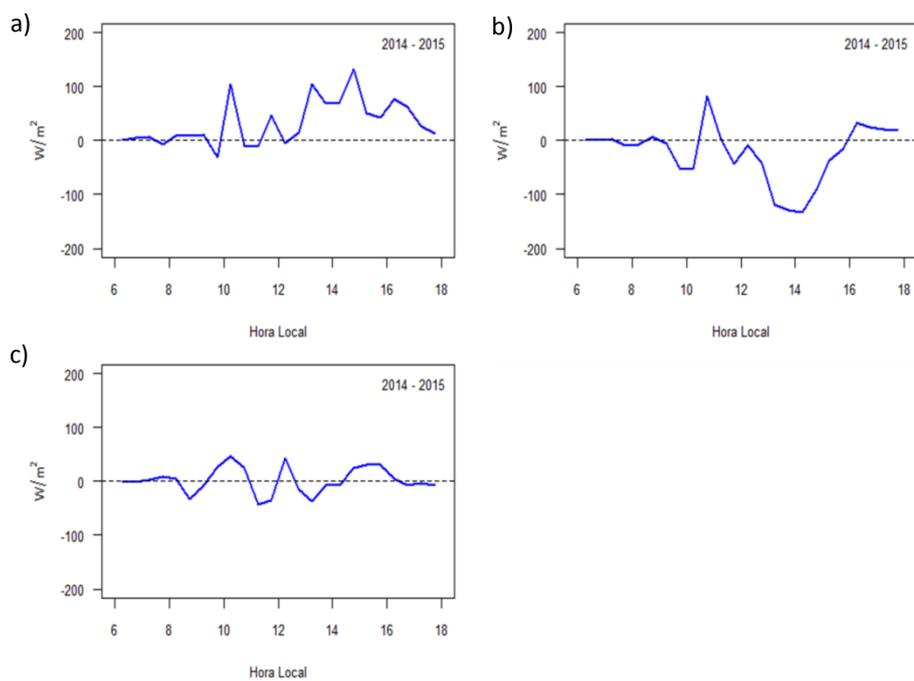


Figura 0.3 - Ciclo diário da variabilidade temporal da irradiância solar direta média, nos meses de (a) Setembro, (b) Outubro e (c) Novembro.



## D.2 Valores médios mensais horários e seus desvios padrões da irradiância solar direta no ciclo diário de 2014 e 2015

Figura 0.4 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Janeiro de: (a) 2014 e (b) 2015.

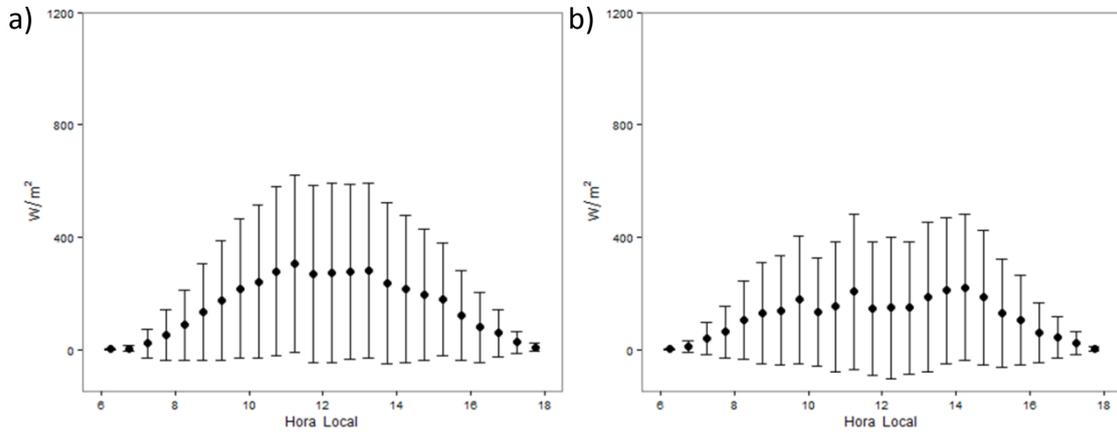


Figura 0.5 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Março de: (a) 2014 e (b) 2015.

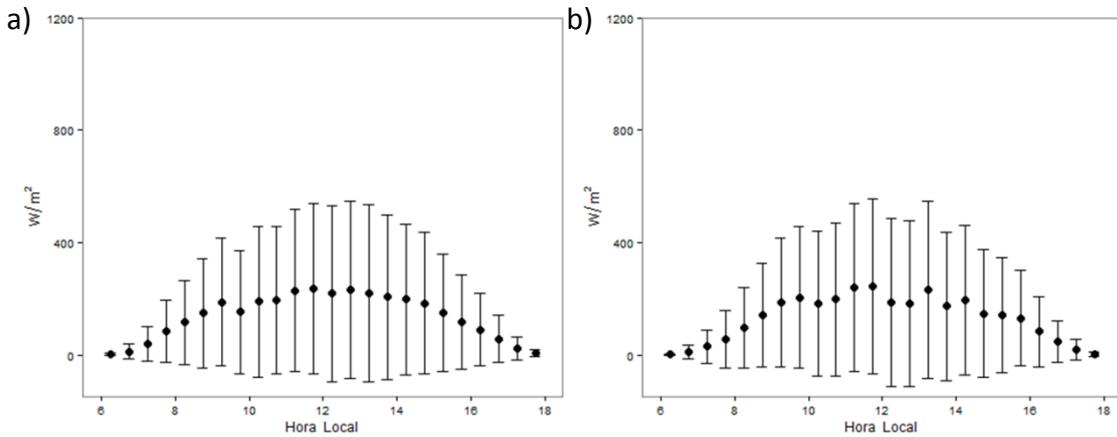


Figura 0.6 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Abril de: (a) 2014 e (b) 2015.

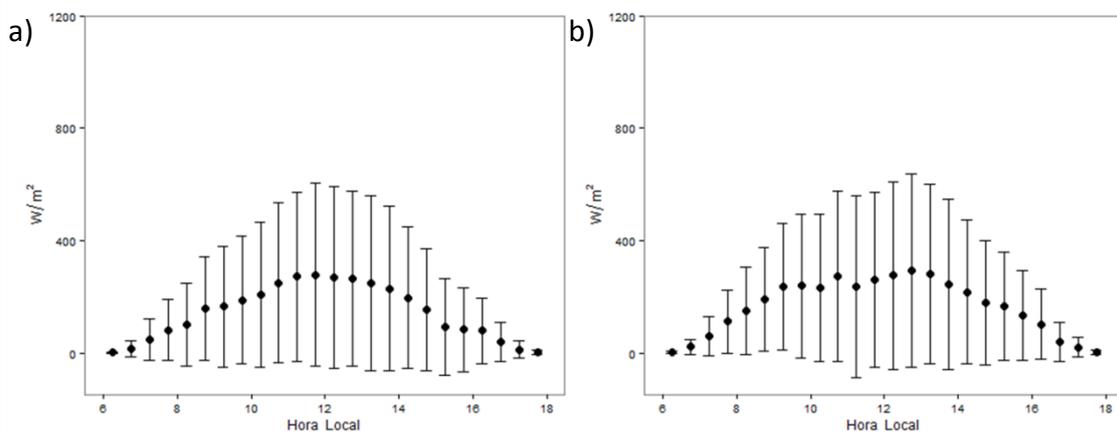


Figura 0.7 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Maio de: (a) 2014 e (b) 2015.

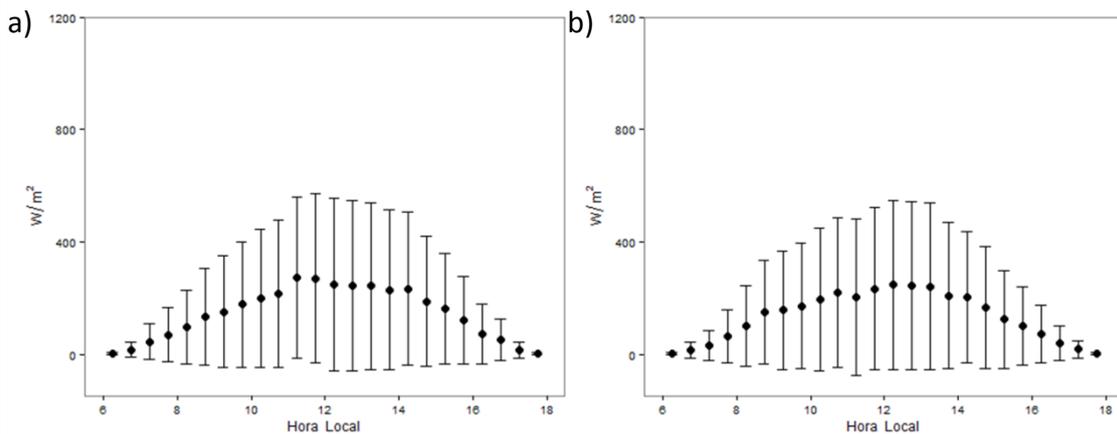


Figura 0.8 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Junho de: (a) 2014 e (b) 2015.

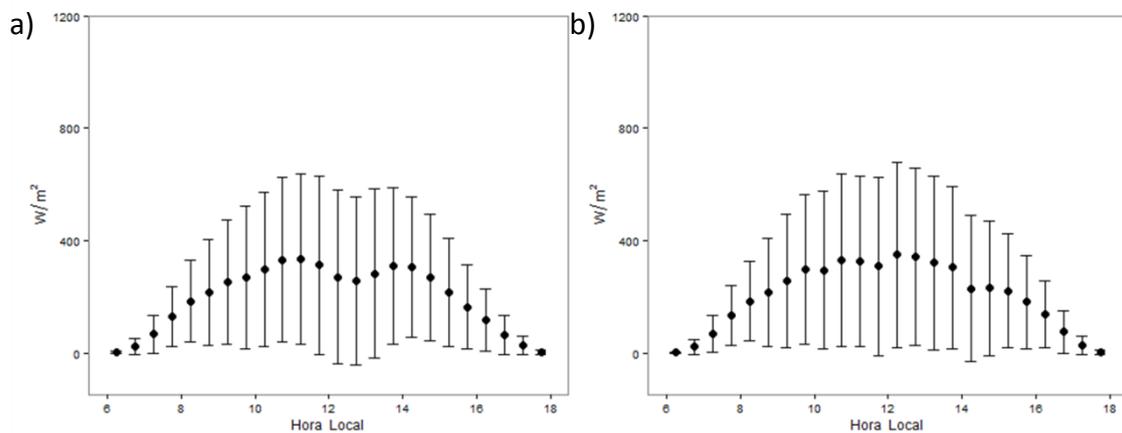


Figura 0.9 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Julho de: (a) 2014 e (b) 2015.

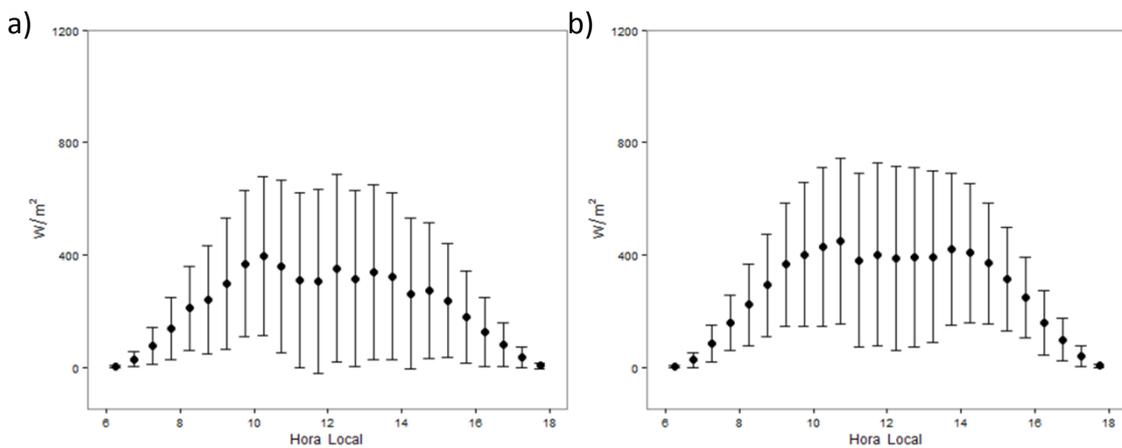


Figura 0.10 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Agosto de: (a) 2014 e (b) 2015.

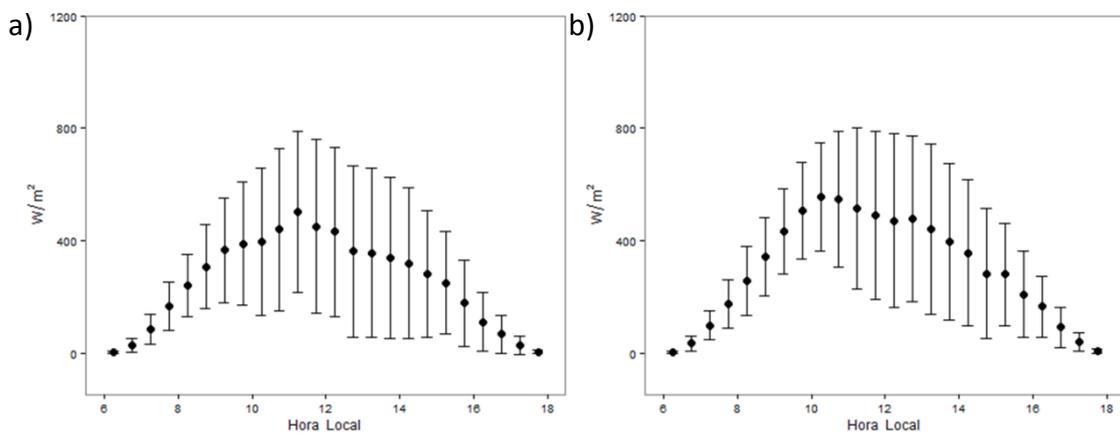


Figura D.0.11 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Outubro de: (a) 2014 e (b) 2015.

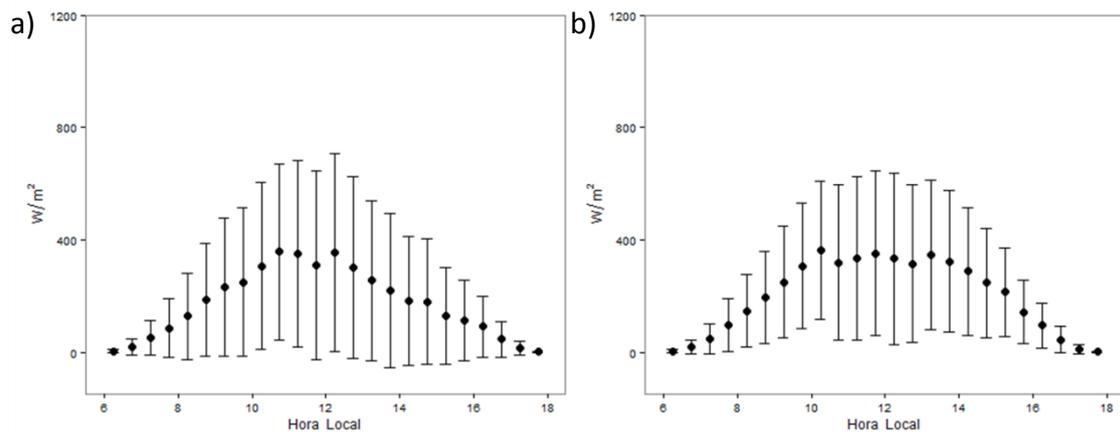


Figura 0.12 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Novembro de: (a) 2014 e (b) 2015.

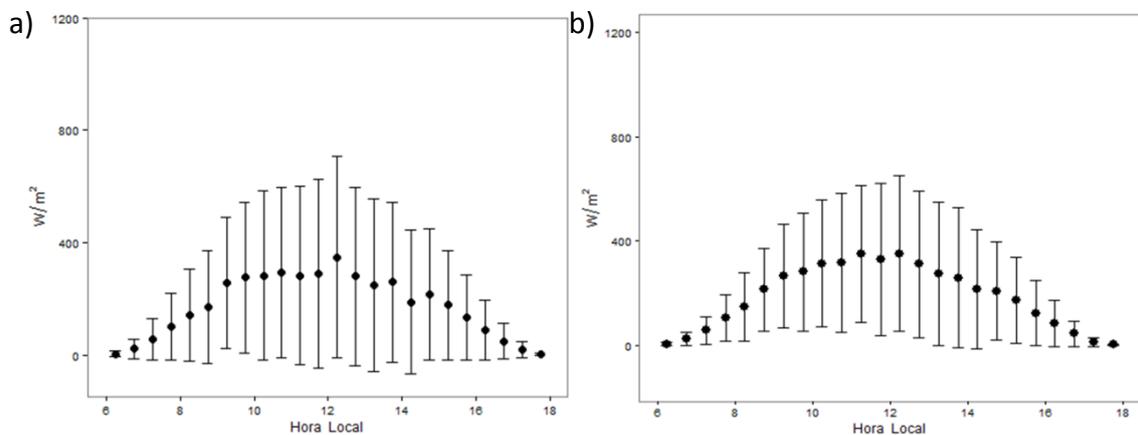


Figura 0.13 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Dezembro de 2014.

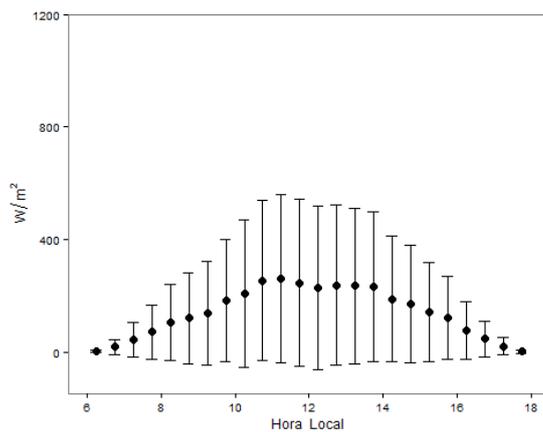


Tabela D.1 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Janeiro de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	0 ±2	100	1 ±2	97
06:30-7:59	4 ±10	100	9 ±21	97
7:00-7:29	22 ±52	100	38 ±56	97
7:30-7:59	51 ±91	100	63 ±93	97
8:00-8:29	87 ±126	100	104 ±140	97
8:30-9:59	133 ±174	100	128 ±180	97
9:00-9:29	174 ±213	100	139 ±195	97
9:30-9:59	217 ±249	100	177 ±227	97
10:00-10:29	241 ±272	100	133 ±192	97
10:30-10:59	279 ±301	100	153 ±232	97
11:00-11:29	304 ±316	100	206 ±277	97
11:30-11:59	270 ±316	100	145 ±237	97
12:00-12:29	272 ±320	100	148 ±251	97
12:30-12:59	277 ±311	100	148 ±236	97
13:00-13:29	281 ±310	100	188 ±265	97
13:30-13:59	235 ±287	100	210 ±261	97
14:00-14:29	215 ±263	100	221 ±261	97
14:30-14:59	195 ±234	100	186 ±240	97
15:00-15:29	179 ±200	100	129 ±194	97
15:30-15:59	121 ±160	100	105 ±159	97
16:00-16:29	79 ±126	100	59 ±107	97
16:30-16:59	59 ±84	100	44 ±75	97
17:00-17:29	26 ±39	100	22 ±41	97
17:30-17:59	7 ±14	100	3 ±10	97

Tabela D.2 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Março de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	1 ±4	100	1 ±3	94
06:30-7:59	12 ±25	100	10 ±25	94
7:00-7:29	39 ±60	100	29 ±57	94
7:30-7:59	84 ±111	100	57 ±102	94
8:00-8:29	116 ±149	100	97 ±141	94
8:30-9:59	149 ±195	100	143 ±184	94
9:00-9:29	189 ±226	100	188 ±230	94
9:30-9:59	152 ±219	100	205 ±253	94
10:00-10:29	190 ±268	100	183 ±257	94
10:30-10:59	194 ±262	100	198 ±274	94
11:00-11:29	229 ±289	100	240 ±299	94
11:30-11:59	235 ±304	100	244 ±312	94
12:00-12:29	218 ±315	100	187 ±300	94
12:30-12:59	233 ±315	100	182 ±295	94
13:00-13:29	219 ±317	100	232 ±317	94
13:30-13:59	206 ±292	100	173 ±266	94
14:00-14:29	197 ±267	100	195 ±266	94
14:30-14:59	184 ±252	100	147 ±227	94
15:00-15:29	150 ±208	100	142 ±205	94
15:30-15:59	117 ±168	100	131 ±170	94
16:00-16:29	89 ±129	100	83 ±126	94
16:30-16:59	57 ±84	100	46 ±74	94
17:00-17:29	25 ±41	100	20 ±36	94
17:30-17:59	5 ±12	100	3 ±8	94

Tabela D.3 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Abril de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	1 ±2	97	2 ±4	90
06:30-7:59	14 ±29	97	21 ±28	90
7:00-7:29	49 ±73	97	59 ±71	90
7:30-7:59	82 ±110	97	112 ±112	90
8:00-8:29	100 ±149	97	149 ±155	90
8:30-9:59	157 ±185	97	191 ±186	90
9:00-9:29	166 ±216	97	234 ±226	90
9:30-9:59	188 ±227	97	239 ±256	90
10:00-10:29	209 ±258	97	232 ±261	90
10:30-10:59	249 ±285	97	272 ±304	90
11:00-11:29	272 ±302	97	236 ±323	90
11:30-11:59	278 ±326	97	261 ±312	90
12:00-12:29	268 ±324	97	277 ±334	90
12:30-12:59	265 ±313	97	293 ±345	90
13:00-13:29	248 ±312	97	282 ±320	90
13:30-13:59	229 ±293	97	245 ±303	90
14:00-14:29	197 ±251	97	217 ±256	90
14:30-14:59	153 ±216	97	179 ±222	90
15:00-15:29	93 ±171	97	166 ±194	90
15:30-15:59	84 ±149	97	134 ±161	90
16:00-16:29	79 ±117	97	101 ±125	90
16:30-16:59	40 ±70	97	40 ±69	90
17:00-17:29	13 ±31	97	21 ±33	90
17:30-17:59	2 ±7	97	3 ±8	90

Tabela D.4 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Maio de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	2 ±5	100	1 ±4	100
06:30-7:59	16 ±26	100	16 ±28	100
7:00-7:29	45 ±64	100	31 ±55	100
7:30-7:59	70 ±96	100	63 ±95	100
8:00-8:29	96 ±131	100	102 ±144	100
8:30-9:59	135 ±171	100	150 ±185	100
9:00-9:29	152 ±199	100	157 ±210	100
9:30-9:59	178 ±223	100	172 ±222	100
10:00-10:29	199 ±246	100	196 ±253	100
10:30-10:59	215 ±262	100	219 ±268	100
11:00-11:29	274 ±288	100	203 ±277	100
11:30-11:59	270 ±300	100	233 ±289	100
12:00-12:29	248 ±306	100	247 ±300	100
12:30-12:59	245 ±304	100	242 ±299	100
13:00-13:29	242 ±296	100	242 ±298	100
13:30-13:59	229 ±286	100	209 ±261	100
14:00-14:29	234 ±272	100	203 ±234	100
14:30-14:59	189 ±231	100	166 ±217	100
15:00-15:29	162 ±197	100	124 ±172	100
15:30-15:59	122 ±154	100	102 ±138	100
16:00-16:29	72 ±108	100	73 ±102	100
16:30-16:59	51 ±73	100	41 ±61	100
17:00-17:29	16 ±29	100	17 ±29	100
17:30-17:59	1 ±4	100	1 ±4	100

Tabela D.5 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Junho de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	2 ±4	100	1 ±3	93
06:30-7:59	22 ±29	100	21 ±26	93
7:00-7:29	66 ±66	100	68 ±64	93
7:30-7:59	131 ±106	100	135 ±106	93
8:00-8:29	184 ±145	100	184 ±142	93
8:30-9:59	216 ±189	100	217 ±193	93
9:00-9:29	251 ±222	100	257 ±238	93
9:30-9:59	268 ±255	100	297 ±265	93
10:00-10:29	298 ±274	100	295 ±280	93
10:30-10:59	332 ±294	100	330 ±308	93
11:00-11:29	335 ±302	100	327 ±302	93
11:30-11:59	313 ±318	100	308 ±319	93
12:00-12:29	270 ±310	100	350 ±329	93
12:30-12:59	256 ±300	100	342 ±315	93
13:00-13:29	283 ±301	100	321 ±308	93
13:30-13:59	309 ±279	100	304 ±290	93
14:00-14:29	305 ±249	100	230 ±261	93
14:30-14:59	268 ±225	100	230 ±239	93
15:00-15:29	215 ±193	100	221 ±204	93
15:30-15:59	164 ±150	100	181 ±165	93
16:00-16:29	118 ±112	100	137 ±118	93
16:30-16:59	64 ±70	100	75 ±75	93
17:00-17:29	26 ±33	100	27 ±34	93
17:30-17:59	3 ±7	100	3 ±7	93

Tabela D.6 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Julho de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	2 ±3	100	1 ±3	97
06:30-7:59	29 ±27	100	25 ±28	97
7:00-7:29	75 ±65	100	85 ±65	97
7:30-7:59	136 ±111	100	159 ±97	97
8:00-8:29	210 ±148	100	222 ±145	97
8:30-9:59	241 ±193	100	292 ±184	97
9:00-9:29	299 ±233	100	365 ±219	97
9:30-9:59	369 ±259	100	401 ±256	97
10:00-10:29	395 ±283	100	429 ±285	97
10:30-10:59	359 ±307	100	449 ±296	97
11:00-11:29	310 ±311	100	381 ±310	97
11:30-11:59	305 ±327	100	402 ±326	97
12:00-12:29	352 ±334	100	387 ±329	97
12:30-12:59	314 ±314	100	391 ±320	97
13:00-13:29	340 ±311	100	393 ±306	97
13:30-13:59	324 ±297	100	421 ±270	97
14:00-14:29	262 ±267	100	407 ±249	97
14:30-14:59	273 ±242	100	370 ±214	97
15:00-15:29	236 ±203	100	313 ±185	97
15:30-15:59	178 ±165	100	249 ±143	97
16:00-16:29	125 ±123	100	160 ±115	97
16:30-16:59	79 ±78	100	98 ±76	97
17:00-17:29	34 ±38	100	39 ±38	97
17:30-17:59	5 ±9	100	5 ±8	97

Tabela D.7 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Agosto de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	2 ±3	100	2 ±4	100
06:30-7:59	25 ±25	100	33 ±26	100
7:00-7:29	84 ±53	100	98 ±52	100
7:30-7:59	165 ±86	100	173 ±86	100
8:00-8:29	240 ±112	100	257 ±122	100
8:30-9:59	306 ±150	100	341 ±140	100
9:00-9:29	366 ±185	100	432 ±152	100
9:30-9:59	389 ±221	100	505 ±172	100
10:00-10:29	396 ±262	100	556 ±193	100
10:30-10:59	439 ±289	100	547 ±242	100
11:00-11:29	502 ±287	100	514 ±286	100
11:30-11:59	451 ±308	100	491 ±300	100
12:00-12:29	432 ±301	100	471 ±310	100
12:30-12:59	362 ±306	100	478 ±296	100
13:00-13:29	357 ±300	100	441 ±303	100
13:30-13:59	338 ±287	100	396 ±278	100
14:00-14:29	319 ±269	100	356 ±259	100
14:30-14:59	282 ±227	100	282 ±232	100
15:00-15:29	250 ±184	100	279 ±181	100
15:30-15:59	178 ±154	100	209 ±154	100
16:00-16:29	110 ±104	100	165 ±109	100
16:30-16:59	68 ±68	100	91 ±72	100
17:00-17:29	27 ±32	100	39 ±34	100
17:30-17:59	4 ±7	100	5 ±8	100

Tabela D.8 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Outubro de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	30 ±59	100	3 ±6	100
06:30-7:59	90 ±131	100	19 ±28	100
7:00-7:29	154 ±188	100	50 ±62	100
7:30-7:59	192 ±235	100	85 ±104	100
8:00-8:29	231 ±274	100	128 ±153	100
8:30-9:59	286 ±307	100	187 ±202	100
9:00-9:29	311 ±331	100	232 ±247	100
9:30-9:59	302 ±320	100	249 ±264	100
10:00-10:29	344 ±334	100	306 ±297	100
10:30-10:59	381 ±334	100	358 ±314	100
11:00-11:29	361 ±341	100	351 ±332	100
11:30-11:59	313 ±340	100	309 ±336	100
12:00-12:29	358 ±357	100	354 ±353	100
12:30-12:59	308 ±333	100	300 ±324	100
13:00-13:29	271 ±302	100	255 ±285	100
13:30-13:59	246 ±309	100	220 ±276	100
14:00-14:29	221 ±279	100	183 ±231	100
14:30-14:59	241 ±296	100	180 ±222	100
15:00-15:29	198 ±263	100	130 ±173	100
15:30-15:59	202 ±259	100	112 ±143	100
16:00-16:29	203 ±242	100	91 ±109	100
16:30-16:59	143 ±187	100	47 ±63	100
17:00-17:29	73 ±111	100	16 ±25	100
17:30-17:59	6 ±22	100	1 ±3	100

Tabela D.9 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Novembro de 2014 e 2015.

Hora Local	2014		2015	
	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	4 ±9	93	4 ±6	100
06:30-7:59	22 ±35	93	25 ±26	100
7:00-7:29	57 ±73	93	57 ±53	100
7:30-7:59	100 ±119	93	103 ±89	100
8:00-8:29	142 ±163	93	147 ±130	100
8:30-9:59	170 ±201	93	213 ±161	100
9:00-9:29	257 ±234	93	267 ±200	100
9:30-9:59	276 ±268	93	280 ±228	100
10:00-10:29	282 ±300	93	314 ±244	100
10:30-10:59	293 ±304	93	315 ±266	100
11:00-11:29	283 ±318	93	350 ±261	100
11:30-11:59	290 ±337	93	329 ±293	100
12:00-12:29	347 ±358	93	352 ±300	100
12:30-12:59	279 ±317	93	310 ±281	100
13:00-13:29	248 ±307	93	274 ±275	100
13:30-13:59	259 ±284	93	259 ±267	100
14:00-14:29	188 ±256	93	216 ±229	100
14:30-14:59	215 ±234	93	208 ±191	100
15:00-15:29	178 ±195	93	172 ±164	100
15:30-15:59	134 ±153	93	123 ±126	100
16:00-16:29	89 ±106	93	84 ±88	100
16:30-16:59	48 ±63	93	44 ±49	100
17:00-17:29	18 ±30	93	11 ±18	100
17:30-17:59	1 ±4	100	1 ±2	100

Tabela D.10 - Média mensal horária e desvio padrão do ciclo diário da irradiância solar direta de Dezembro de 2014.

Hora Local	Média e desvio padrão (W/m <sup>2</sup> )	Amostra (%)
06:00-6:29	2 ±6	100
06:30-7:59	17 ±28	100
7:00-7:29	44 ±62	100
7:30-7:59	70 ±96	100
8:00-8:29	104 ±135	100
8:30-9:59	120 ±163	100
9:00-9:29	137 ±184	100
9:30-9:59	182 ±218	100
10:00-10:29	208 ±262	100
10:30-10:59	254 ±283	100
11:00-11:29	262 ±299	100
11:30-11:59	246 ±298	100
12:00-12:29	227 ±292	100
12:30-12:59	238 ±286	100
13:00-13:29	235 ±276	100
13:30-13:59	233 ±267	100
14:00-14:29	189 ±221	100
14:30-14:59	171 ±209	100
15:00-15:29	141 ±177	100
15:30-15:59	120 ±147	100
16:00-16:29	77 ±103	100
16:30-16:59	46 ±65	100
17:00-17:29	20 ±32	100
17:30-17:59	2 ±6	100

## **APÊNDICE E**

Este apêndice tem o objetivo fazer uma análise complementar ao que foi discutido no capítulo de transmissividade da atmosfera ( $K_t$ ) (Capítulo 4.2), onde discutiram-se as médias mensais de 2014 e 2015. Aqui serão apresentados as diferenças dos valores médios de  $K_t$  2014 e 2015.

### **E.1 Diferença entre os valores médios mensais horários da transmissividade atmosférica ( $K_t$ ) entre 2014 e 2015**

As Figuras de E.1 a E.3 mostram a diferença entre os valores de médios de  $K_t$  de cada mês de 2014 subtraído do mesmo mês em 2015. A intenção é verificar o quanto maior ou menor foi o valor de  $K_t$  ao longo em 2014 em relação a 2015. No mês de Janeiro (Figura E.1a), o valor de  $K_t$  foi positivo para a maior parte do ciclo diário. Nos meses de Março e Abril (Figura E.2c e E.2d), esta diferença esteve próxima de zero ao longo de todo o ciclo diário.

Figura 0.1 - Diferença do valor de Kt nos meses de (a) Janeiro, (b) Fevereiro, (c) Março, (d) Abril.

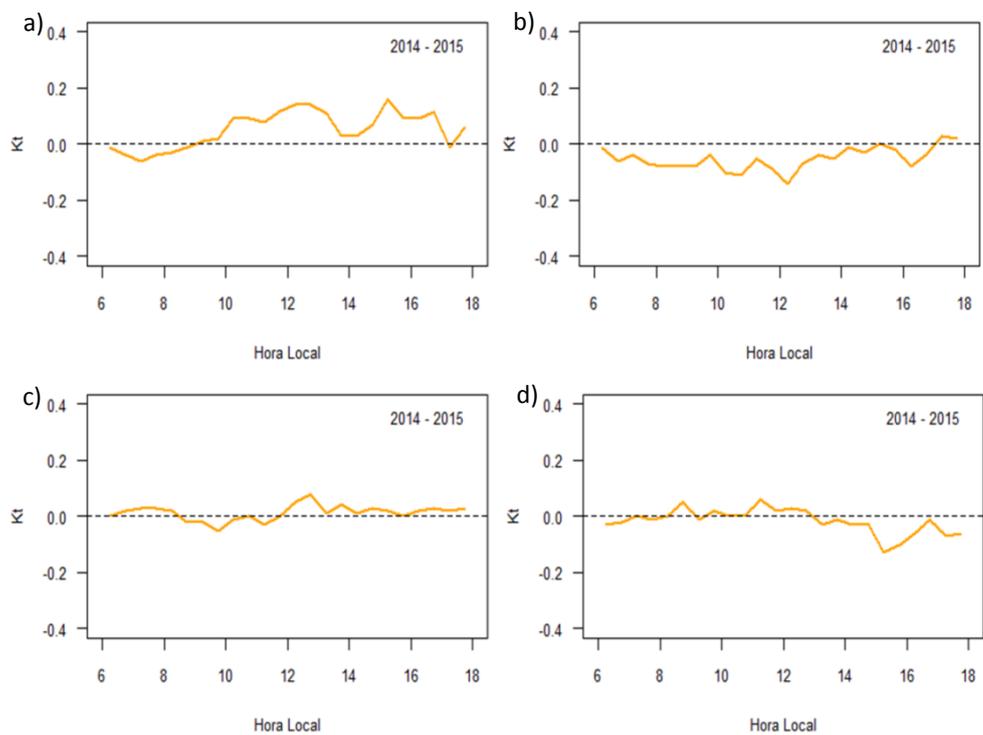


Figura 0.2 - Diferença do valor de Kt nos meses de (a) Maio, (b) Junho, (c) Julho, (d) Agosto.

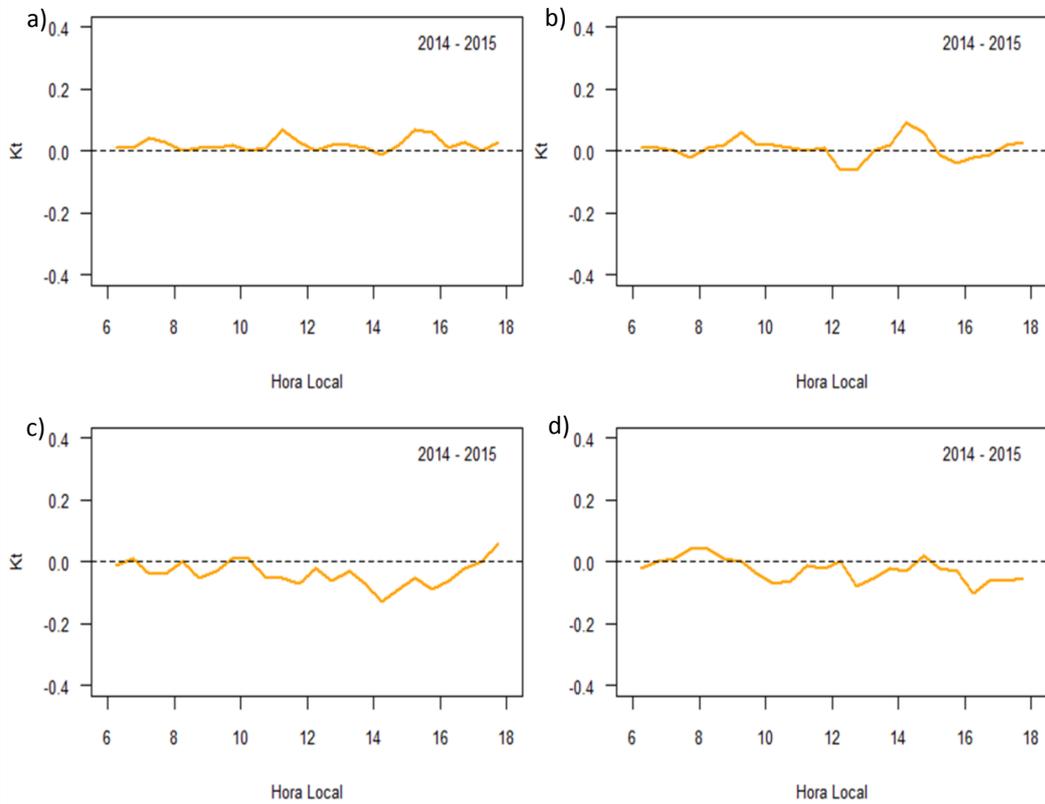
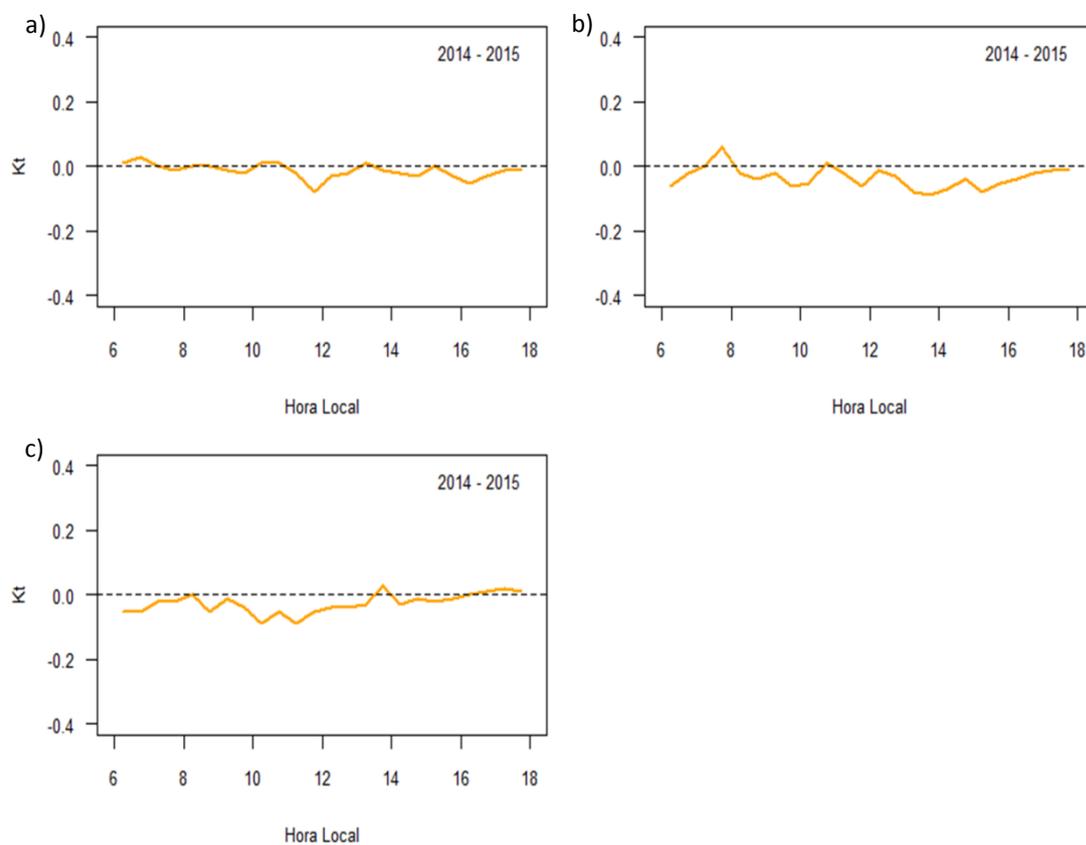


Figura 0.3 - Diferença do valor de  $K_t$  médio de 2014 subtraído de 2015, nos meses de (a) Setembro, (b) Outubro, (c) Novembro.



## **APÊNDICE F**

Reportagens sobre as queimadas em Manaus no ano de 2015

### **F.1 22 de Setembro de 2015**

Destaque: "Em apenas dois meses, Manaus registra mais da metade dos incêndios registrados em 2014"

"Em Agosto foram registrados 79 incêndios em áreas verdes, já em Setembro, até esta segunda-feira (21), 76 ocorrências foram confirmadas"

Fonte: [http://acritica.uol.com.br/manaus/Setembro-queimadas-verdes-representam-metade\\_0\\_1435056512.html](http://acritica.uol.com.br/manaus/Setembro-queimadas-verdes-representam-metade_0_1435056512.html)

### **F.2 29 de Setembro de 2015**

Destaque: "Número de queimadas urbanas em Setembro em Manaus supera o registrado em todo resto do ano"

"De Janeiro a Agosto foram registrados 123 incêndios em vegetação e só no mês de Setembro foram 216 casos, 75,6% a mais, conforme o Corpo de Bombeiros do Amazonas"

Fonte: [http://acritica.uol.com.br/manaus/queimadas-urbanas-Manaus-Setembro-supera\\_0\\_1439856037.html](http://acritica.uol.com.br/manaus/queimadas-urbanas-Manaus-Setembro-supera_0_1439856037.html)

### **F.3 01 de Outubro de 2015**

Destaque: "Manaus amanhece encoberta por fumaça proveniente de queimadas"

"O fumaçê denso e o forte cheiro de queimado causam transtornos à população: problemas respiratórios, voos foram suspensos e escolas estão fechando"

Fonte: [http://acritica.uol.com.br/manaus/Manaus-encoberta-provavelmente-proveniente-queimadas\\_0\\_1441055881.html](http://acritica.uol.com.br/manaus/Manaus-encoberta-provavelmente-proveniente-queimadas_0_1441055881.html)

Figura 0.1 - Manaus encoberta por uma densa nuvem de fumaça em 1 de Outubro.



Fonte: [http://acritica.uol.com.br/manaus/Manaus-encoberta-provavelmente-proveniente-queimadas\\_0\\_1441055881.html](http://acritica.uol.com.br/manaus/Manaus-encoberta-provavelmente-proveniente-queimadas_0_1441055881.html)

#### **F.4 2 de Outubro de 2015**

Destaque: "Poluição do ar em Manaus está o dobro do aceitável pela OMS"

"Fumaça provocada por queimadas eleva o número de partículas finas na atmosfera e prejudica a qualidade do ar"

Fonte: <http://portalamazonia.com/noticias-detalle/cidades/poluicao-do-ar-em-manaus-esta-4-vezes-acima-do-aceitavel-pela-ms/?cHash=53824bdafc0dbe420153d6a38d15c384>

#### **F.5 5 de Outubro de 2015**

Destaque: "Imagem de satélite do Inpe mostra nuvem de fumaça oriunda de incêndios perto de Manaus"

"Municípios próximos da capital são atuais campeões em focos de incêndios. Se vento estivesse na direção de Manaus, cidade poderia estar tomada por fumaça neste momento"

Fonte: [http://acritica.uol.com.br/amazonia/Imagem-satelite-mostra-incendios-Manaus\\_0\\_1443455677.html](http://acritica.uol.com.br/amazonia/Imagem-satelite-mostra-incendios-Manaus_0_1443455677.html)

## F.6 07 de Outubro de 2015

Destaque: "Nuvens de fumaça prejudicam navegação de barcos pelos rios do Amazonas"

"A baixa visibilidade nos rios decorrente das queimadas por pouco não causou um grave acidente numa embarcação com 60 passageiros"

Fonte: [http://acritica.uol.com.br/noticias/Amazonas-Amazonia-Embarcacao-acidente-devido-nuvens-fumaca\\_0\\_1444655530.html](http://acritica.uol.com.br/noticias/Amazonas-Amazonia-Embarcacao-acidente-devido-nuvens-fumaca_0_1444655530.html)

Figura 0.2 - Embarcação que ficou presa a um banco de areia por causa da baixa visibilidade no rio Solimões, provocada pela fumaça.



Fonte: [http://acritica.uol.com.br/noticias/Amazonas-Amazonia-Embarcacao-acidente-devido-nuvens-fumaca\\_0\\_1444655530.html](http://acritica.uol.com.br/noticias/Amazonas-Amazonia-Embarcacao-acidente-devido-nuvens-fumaca_0_1444655530.html)

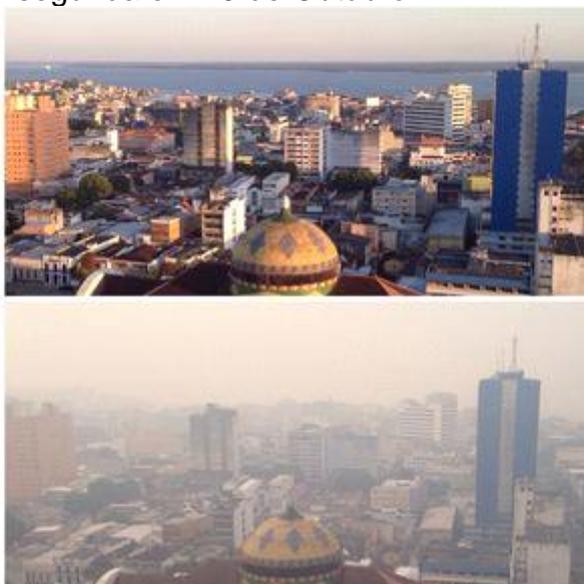
## F.8 19 de Outubro de 2015

Destaque: "Fumaça prejudica visibilidade de pilotos e aeroporto precisou operar por instrumentos"

"Capital amazonense entra no 19º dia de fenômeno, proveniente das queimadas na região, com a cidade ainda encoberta pela nuvem cinza"

Fonte: [http://acritica.uol.com.br/manaus/ASAS\\_0\\_1451854803.html](http://acritica.uol.com.br/manaus/ASAS_0_1451854803.html)

Figura 0.3 - Comparação: a primeira foto foi tirada no dia 7 de Agosto e a segunda em 19 de Outubro.



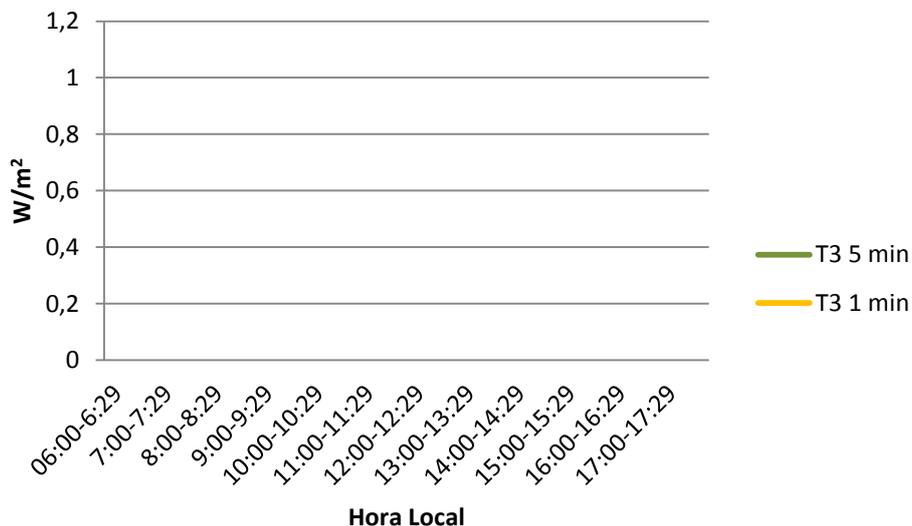
Fonte: [http://acritica.uol.com.br/manaus/ASAS\\_0\\_1451854803.html](http://acritica.uol.com.br/manaus/ASAS_0_1451854803.html)

## APÊNDICE G

Neste apêndice foi calculada a média mensal da irradiância solar global com amostra de dados de cada 5 minutos, para o sítio T3 e comparado com a amostra de dados de 1 minuto (que é a que foi usada no trabalho). Ou seja, em um tem-se para cada 30 minutos 6 dados e para outro (usado no trabalho) 30 dados. Este procedimento foi realizado para poder se comparar os dados obtidos em Manaus (1 observação a cada 5 min) com os dos sítios T3 e Embrapa, no qual foram obtidos dados com maior resolução temporal (1 observação por minuto).

Foi escolhido o mês de Fevereiro de 2014, que é um mês representativo do período chuvoso, portanto com muita nebulosidade, e observou-se que as diferenças dos valores médios obtidos entre as taxas de amostragem foram insignificantes.

Figura 0.1 - Ciclo diário médio de Fevereiro de 2014 no sítio T3.



TabelaG.1 - Valores do ciclo diário dos dois métodos

Hora Local	T3 1 min (W/m <sup>2</sup> )	T3 5 min (W/m <sup>2</sup> )
6:00-6:29	3	2
6:30-7:59	35	32
7:00-7:29	92	87
7:30-7:59	153	151
8:00-8:29	207	202
8:30-9:59	280	273
9:00-9:29	363	352
9:30-9:59	443	438
10:00-10:29	459	460
10:30-10:59	483	469
11:00-11:29	586	593
11:30-11:59	556	548
12:00-12:29	552	556
12:30-12:59	612	603
13:00-13:29	632	623
13:30-13:59	577	586
14:00-14:29	538	537
14:30-14:59	465	470
15:00-15:29	430	434
15:30-15:59	314	325
16:00-16:29	236	238
16:30-16:59	171	180
17:00-17:29	117	122
17:30-17:59	52	56

## APÊNDICE H

Foram observados alguns valores mínimos negativos elevados ao longo das amostras de trinta minutos de dados. Este comportamento foi especialmente notado nos dados de irradiância solar direta. Na tentativa de excluir possíveis erros destes dados e tornar a média mais coerente com o real possível, foram aplicadas metodologias ao longo do trabalho. Após os testes, optou-se por trabalhar com os dados brutos, pois em média, não houveram diferenças significativas entre o dado bruto e o que foi testado. Os resultados mostrados a seguir, como um exemplo, referem-se ao mês de Março de 2014.

### **H.1 Exclusão dos valores menores ou iguais a zero**

**Sem  $\leq 0$ :** Nesta metodologia foram excluídos todos os valores menores e iguais a zero da amostra.

### **H.2 Exclusão dos valores menores ou iguais a zero e 5% dos maiores valores (extremos)**

**Sem  $\leq 0$  e 5%:** Nesta metodologia foram excluídos todos os zeros da amostra e 5% dos Maiores valores (extremos) da amostra.

### **H.3 BSRN (*Baseline Surface Radiation Network*):**

Aplicaram-se os testes sugeridos pela BSRN (Long& Dutton, V2.0), descritos a seguir.

1º etapa: Limites fisicamente possíveis:

Irradiância Global:

Mínimo:  $-4 \text{ Wm}^{-2}$

Máximo:  $r \times 1,5 \times \cos \theta_z^{1,2} + 100 \text{ Wm}^{-2}$

Irradiância Difusa:

Min:  $-4 \text{ Wm}^{-2}$

Max:  $r \times 0,95 \times \cos \theta_z^{1,2} + 50 \text{ Wm}^{-2}$

Irradiância Direta Normal:

Min:  $-4 \text{ Wm}^{-2}$

Max: r

2º etapa: Limites extremamente raros

Irradiância Global:

Mínimo:  $-2 \text{ Wm}^{-2}$

Máximo:  $r \times 1,2 \times \cos \theta_z^{1,2} + 50 \text{ Wm}^{-2}$

Irradiância Difusa

Mínimo:  $-2 \text{ Wm}^{-2}$

Máximo:  $r \times 0,75 \times \cos \theta_z \mu_0^{1,2} + 30 \text{ Wm}^{-2}$

## Irradiância Direta Normal

Min:  $-2 \text{ Wm}^{-2}$

Max:  $r \times 0,95 \times \cos \theta_z^{0,2} + 10 \text{ Wm}^{-2}$

Nas Figuras H.1 a H.3 são apresentados exemplos dos testes aplicados, para irradiância global, difusa e direta, respectivamente.

Figura 0.1 - Ciclo diário médio da irradiância global, em Março de 2014, com as metodologias testadas.

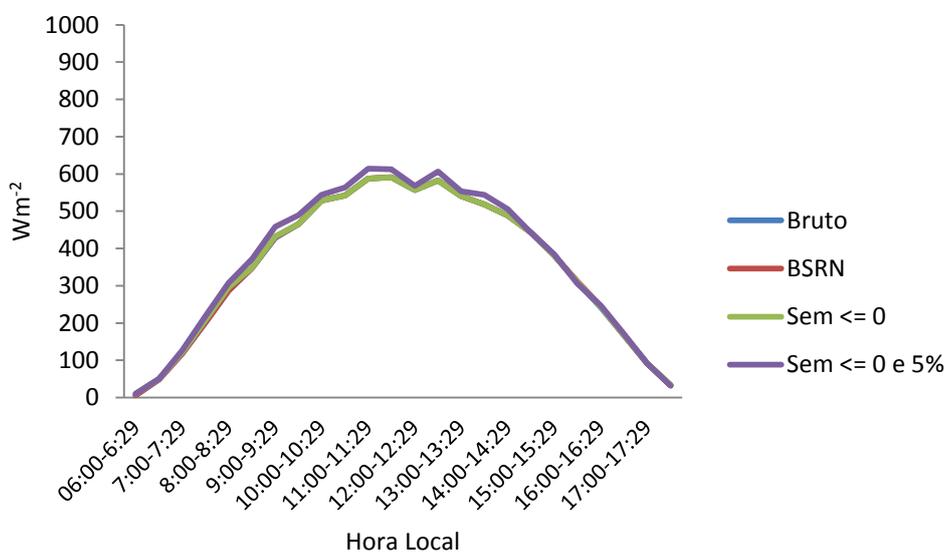


Figura 0.2 - Ciclo diário médio da irradiância direta, em Março de 2014, com as metodologias testadas.

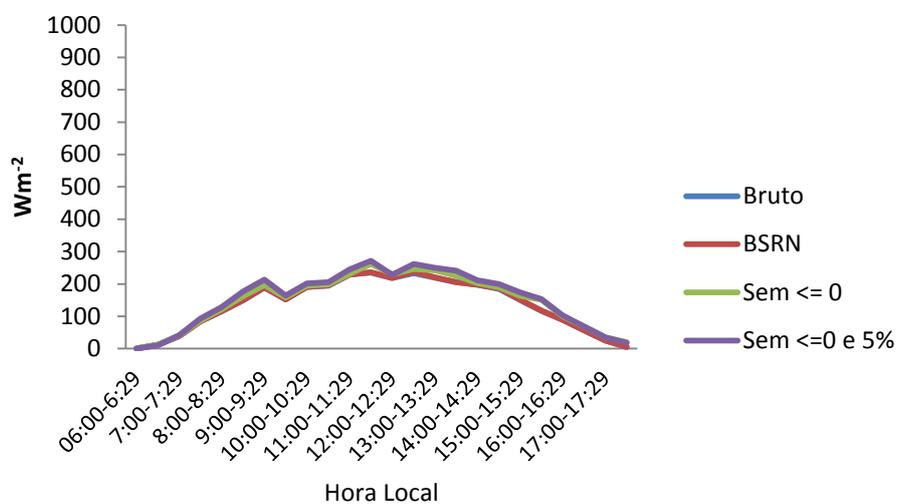


Figura 0.3 - Ciclo diário médio da irradiância difusa, em Março de 2014, com as metodologias testadas.

