



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA



MISAEEL FERREIRA DOS SANTOS

Impactos da substituição da Mata Atlântica por canavial no Balanço de Ondas Longas e sua variabilidade sazonal no litoral alagoano

Maceió, Alagoas, Brasil
Janeiro, 2020

MISAEEL FERREIRA DOS SANTOS

Impactos da substituição da Mata Atlântica por canavial no Balanço de Ondas Longas e sua variabilidade sazonal no litoral alagoano

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Ciências Atmosféricas – ICAT da Universidade Federal de Alagoas – UFAL como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antonio Lima Moura

Maceió, Alagoas, Brasil
Janeiro, 2020

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

- S237i Santos, Misael Ferreira dos.
Impactos da substituição da mata Atlântica por canavial no balanço de ondas longas e sua variabilidade sazonal no litoral alagoano / Misael Ferreira dos Santos. – 2020.
70 f. : il., grafs., tabs. color.
- Orientador: Marcos Antonio Lima Moura.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2020.
- Bibliografia: f. 66-70.
1. Radiação terrestre. 2. Radiação atmosférica. 3. Ecossistemas.
4. Ondas (Física). I. Título.

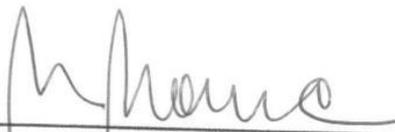
CDU: 551.521.32

FOLHA DE APROVAÇÃO

MISAEI FERREIRA DOS SANTOS

Impactos da substituição da Mata Atlântica por canavial no Balanço de Ondas Longas e sua variabilidade sazonal no litoral alagoano

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Atmosféricas – ICAT da Universidade Federal de Alagoas – UFAL como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia, aprovado em 24 de janeiro de 2020.



Prof. Dr. Marcos Antonio Lima Moura (orientador)

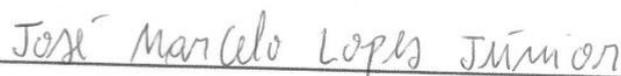
Banca Examinadora:



Prof. Dr. Carlos Alexandre Santos Querino



Prof. Dr. Rosiberto Salustiano da Silva Júnior



Me. José Marcelo Lopes Júnior

Dedico a Deus, à minha família,
em especial, a meu avô Manoel (in
memoriam).

AGRADECIMENTOS

A Deus por seu amor e graça, pois sem Ele eu não existira. Em todos os momentos foi Ele quem me sustentou.

À minha família que sempre me apoiou em tudo e me deu suporte para concluir esta graduação.

Aos meus amigos que conheci antes e durante a graduação. Aos amigos e irmãos da Cru Campus.

Ao meu professor e orientador Marcos Moura pelos conselhos, correções e paciência. Aos professores do Instituto de Ciências Atmosféricas – ICAT que contribuíram para minha formação. Ao José Marcelo e aos professores Rosiberto Salustiano e Carlos Alexandre por aceitarem participar da banca examinadora.

Os céus proclamam a glória de Deus, e o firmamento anuncia as obras das suas mãos. Um dia discursa a outro dia, e uma noite revela conhecimento a outra noite. Não há linguagem, nem há palavras, e deles não se ouve nenhum som; no entanto, por toda a terra se faz ouvir a sua voz, e as suas palavras, até aos confins do mundo. Aí, pôs uma tenda para o sol, o qual, como noivo que sai dos seus aposentos, se regozija como herói, a percorrer o seu caminho. Principia numa extremidade dos céus, e até à outra vai o seu percurso; e nada refoge ao seu calor. A lei do Senhor é perfeita e restaura a alma; o testemunho do Senhor é fiel e dá sabedoria aos símplices. Os preceitos do Senhor são retos e alegam o coração; o mandamento do Senhor é puro e ilumina os olhos.

Salmos 19:1-8

RESUMO

A Mata Atlântica é composta por um conjunto de formações florestais, dos quais restam apenas 12,4% da floresta que existia originalmente. Em Alagoas a principal substituição foi por culturas agrícolas como a Cana-de-açúcar, onde em média são plantados 432 mil hectares que correspondem, aproximadamente, 15,55% da área do estado. Essa degradação causa impactos significativos, principalmente no Balanço de Radiação de Onda Longa (BOL), variável importante para estudos climáticos e microclimáticos, pois este balanço está intrinsecamente relacionado ao balanço térmico e troca de energia entre superfície e atmosfera. O conhecimento do BOL é importante para determinação das trocas energéticas que ocorrem no sistema superfície-atmosfera. São escassos os estudos microclimáticos, principalmente relacionados a radiação de onda longa (OL) sobre Floresta de Mata Atlântica. Diante disso, o principal objetivo desse trabalho consiste em caracterizar a variabilidade sazonal e o impacto da substituição de Mata Atlântica por canavial no BOL, assim como verificar a influência de variáveis micrometeorológicas (precipitação, nebulosidade, Radiação Solar incidente na superfície terrestre (R_g), Radiação de Onda Longa Atmosférica (R_a) e Radiação de Onda Longa Terrestre (R_s)) sobre o BOL. Os dados foram coletados em uma floresta de Mata Atlântica ($10^{\circ}00'37''S$, $36^{\circ}17'60''W$) em Coruripe-AL e um Canavial ($09^{\circ}28'03''S$, $35^{\circ}49'49''W$) localizado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas em Rio Largo-AL. As medições de radiação de onda longa e curta foram obtidas por um saldo radiômetro modelo CNR1 da Kipp e Zonen (Delft, Holanda). Já a precipitação foi registrada por um pluviômetro TE 525 (Texas Instruments, USA). Os períodos de estudo nos dois sítios foram na estação seca (novembro-dezembro) e chuvosa (maio-junho), os bimestres com menores e maiores registros de precipitação, respectivamente. Após a aquisição dos dados e tratamento dos mesmos, foi calculado o índice de transparência da atmosfera (K_t) e a estatística descritiva dos dados. Na estação seca a precipitação foi abaixo ou acima da normal climatológica, mas pouco influenciou a R_g que foi atenuada apenas em dias específicos com maiores registros de precipitação. O mesmo aconteceu com a R_a , mas um leve aumento. A R_s teve um aumento de 3,95% no período diurno na substituição de floresta de Mata Atlântica por canavial. Com isso, impactou, em média, na estação seca numa diminuição 26,07% do BOL no período diurno e noturno constatou-se aumento de 22,99% do BOL. Na estação chuvosa a precipitação também foi abaixo ou acima da normal e, por isso, influenciou na R_g que teve diferença de 13,03% entre os dois sítios. Mas a diferença de precipitação não influenciou a R_a que teve uma diferença de apenas 1,89% em sua média. Já a R_s teve o impacto do desflorestamento reduzido na estação chuvosa em virtude da menor R_g e crescimento do dossel da cana-de-açúcar. Com isso, a R_s foi a principal variável que influenciou no BOL.

Palavras-chave: Radiação Terrestre; Radiação atmosférica; Ecossistemas.

ABSTRACT

The Atlantic Forest is composed of a set of forest formations, of which only 12,4% of the forest that originally existed remains. In Alagoas, the main substitution was for agricultural crops such as sugarcane, where on average 432 thousand hectares are planted, corresponding to approximately 15,55% of the state's area. This degradation causes significant impacts, especially on the Longwave Radiation Balance (BOL), an important variable for climate and microclimate studies, as this balance is intrinsically related to the thermal balance and energy exchange between surface and atmosphere. Knowledge of BOL is important for determining the energy exchanges that occur in the surface-atmosphere system. Microclimatic studies are scarce, mainly related to long wave radiation (OL) on Atlantic Forest. Given this, the main objective of this work is to characterize the seasonal variability and the impact of the replacement of Atlantic Forest by sugarcane in the BOL, as well as to verify the influence of micrometeorological variables (precipitation, cloudiness, solar radiation incident on the terrestrial surface (R_g), Atmospheric Longwave Radiation (R_a) and Terrestrial Longwave Radiation (R_s)) over the BOL. Data were collected in an Atlantic Forest ($10^{\circ} 00'37''$ S, $36^{\circ} 17'60''$ W) in Coruripe – AL and a Sugarcane ($09^{\circ}28'03''$ S, $35^{\circ}49'49''$ W) located at the Center for Agricultural Sciences of the Federal University of Alagoas in Rio Largo-AL. Long and short wave radiation measurements were obtained by a model radiometer CNR1 from Kipp and Zonen (Delft, the Netherlands). Precipitation was recorded by a TE 525 rain gauge (Texas Instruments, USA). The study periods at both sites were in the dry season (November-December) and rainy season (May-June), the months with the lowest and highest rainfall records, respectively. After data acquisition and treatment, the atmospheric transmissivity index (K_t) and the descriptive statistics of the data were calculated. In the dry season the precipitation was below or above the normal climate, but had little influence on R_g that was attenuated only on specific days with higher rainfall records. The same thing happened with R_a , but a slight increase. The R_s had a 3,95% increase in the daytime in the replacement of Atlantic Forest with sugarcane. As a result, on average, during the dry season, it impacted a 26,07% decrease in BOL in the daytime and increase in BOL night periods with a 22,99%. In the rainy season the precipitation was also below or above normal and, therefore, influenced the R_g which had a difference of 13,03% between the two sites. But the difference in precipitation did not influence R_a which had a difference of only 1,89% in its average. Already R_s had the impact of deforestation reduced in the rainy season due to lower R_g and canopy growth of sugarcane. Thus, R_s was the main variable that influenced BOL.

Key Word: Terrestrial Radiation; Atmospheric Radiation; Ecosystems.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Área de cultivo da cana-de-açúcar em Alagoas entre 1980 e 2017. Fonte: IBGE (2017).....21
- Figura 2** – Localização geográfica das áreas de estudo.....26
- Figura 3** – Normais climatológicas dos municípios de Maceió e Coruripe: A) precipitação (ANA, 2019); B) umidade relativa do ar (UR) e temperatura média do ar (Tar) (INMET, 2009).....27
- Figura 4** – a) Torre e b) tripé micrometeorológicos utilizados no experimento.....28
- Figura 5** – Layout da torre micrometeorológica localizada na floresta (Coruripe) e do tripé micrometeorológico localizado no canavial (Rio Largo) utilizados neste estudo.....29
- Figura 6** – Acumulado diário de Precipitação (mm) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação seca.....31
- Figura 7** – Médias horárias-diárias de Radiação Solar Global (R_g) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação seca.....32
- Figura 8** – Distribuição da frequência da Radiação Solar Global (R_g) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação seca.....33
- Figura 9** – Box Plot da Radiação Solar Global (R_g) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação seca. *Dias com dados incompletos..34
- Figura 10** – Médias horárias-diárias de Radiação de Onda Longa Atmosférica (R_a) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação seca...35
- Figura 11** – Distribuição da frequência da Radiação de Onda Longa Atmosférica (R_a) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação seca.....36
- Figura 12** – Box Plot da Radiação de Onda Longa Atmosférica (R_a) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação seca. *Dias com dados incompletos.....37
- Figura 13** – Variação média horária da irradiância atmosférica (R_a) ($W.m^{-2}$) na Mata Atlântica e Canavial na estação seca.....38
- Figura 14** – Médias horárias-diárias de Radiação de Onda Longa Superficial (R_s) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação seca...39
- Figura 15** – Distribuição da frequência da Radiação de Onda Longa Superficial (R_s) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação seca.....40
- Figura 16** – Box Plot da Radiação de Onda Longa Superficial (R_s) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação seca. *Dias com dados incompletos.....41
- Figura 17** – Variação média horária da irradiância superficial (R_s) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação seca.....42
- Figura 18** – Médias horárias-diárias de Balanço de Onda Longa (BOL) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação seca.....43

Figura 19 – Distribuição da frequência do Balanço de Onda Longa (BOL) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação seca.....	44
Figura 20 – Box Plot do Balanço de Onda Longa (BOL) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação seca. *Dias com dados incompletos..	45
Figura 21 – Variação média horária do Balanço de Onda Longa (BOL) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação seca.....	46
Figura 22 – Acumulado diário de Precipitação (mm) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação chuvosa.....	47
Figura 23 – Médias horárias-diárias de Radiação Solar Global (Rg) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação chuvosa.....	48
Figura 24 – Distribuição da frequência da Radiação Solar Global (Rg) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação chuvosa.....	49
Figura 25 – Box Plot da Radiação Solar Global (Rg) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação chuvosa. *Dias com dados incompletos.....	50
Figura 26 – Médias horárias-diárias de Radiação de Onda Longa Atmosférica (Ra) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação chuvosa.....	51
Figura 27 – Distribuição da frequência da Radiação de Onda Longa Atmosférica (Ra) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação chuvosa.....	53
Figura 28 – Box Plot da Radiação de Onda Longa Atmosférica (Ra) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação chuvosa. *Dias com dados incompletos.....	53
Figura 29 – Variação média horária da irradiância atmosférica (Ra) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação chuvosa.....	54
Figura 30 – Médias horárias-diárias de Radiação de Onda Longa Superficial (Rs) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação chuvosa.....	55
Figura 31 – Distribuição da frequência da Radiação de Onda Longa Superficial (Rs) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação chuvosa.....	57
Figura 32 – Box Plot da Radiação de Onda Longa Superficial (Rs) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação chuvosa. *Dias com dados incompletos.....	57
Figura 33 – Variação média horária da irradiância superficial (Rs) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação chuvosa.....	58
Figura 34 – Médias horárias-diárias de Balanço de Onda Longa (BOL) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação chuvosa.....	59
Figura 35 – Distribuição da frequência do Balanço de Onda Longa (BOL) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação chuvosa.....	61

Figura 36 – Box Plot do Balanço de Onda Longa (BOL) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação chuvosa. *Dias com dados incompletos.....62

Figura 37 – Variação média horária do Balanço de Onda Longa (BOL) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação chuvosa.....63

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Média (\bar{x}), desvio padrão (DP), assimetria (As), curtose (K), coeficiente de variação (CV), primeiro quartil (Q1), mediana (Md), terceiro quartil (Q3) e 95º percentil (P95) da Radiação Solar Global (Rg), em $W.m^{-2}$, na estação seca.....33
- Tabela 2** – Média (\bar{x}), desvio padrão (DP), assimetria (As), curtose (K), coeficiente de variação (CV), primeiro quartil (Q1), mediana (Md), terceiro quartil (Q3) e 95º percentil (P95) da Radiação de Onda Longa Atmosférica (Ra), em $W.m^{-2}$, na estação seca.....35
- Tabela 3** – Média (\bar{x}), desvio padrão (DP), assimetria (As), curtose (K), coeficiente de variação (CV), primeiro quartil (Q1), mediana (Md), terceiro quartil (Q3) e 95º percentil (P95) da Radiação de Onda Longa Superficial (Rs), em $W.m^{-2}$, na estação seca.....40
- Tabela 4** – Média (\bar{x}), desvio padrão (DP), assimetria (As), curtose (K), coeficiente de variação (CV), primeiro quartil (Q1), mediana (Md), terceiro quartil (Q3) e 95º percentil (P95) do Balanço de Onda Longa (BOL), em $W.m^{-2}$, na estação seca.....44
- Tabela 5** – Média (\bar{x}), desvio padrão (DP), assimetria (As), curtose (K), coeficiente de variação (CV), primeiro quartil (Q1), mediana (Md), terceiro quartil (Q3) e 95º percentil (P95) da Radiação Solar Global (Rg), em $W.m^{-2}$, na estação chuvosa.....49
- Tabela 6** – Média (\bar{x}), desvio padrão (DP), assimetria (As), curtose (K), coeficiente de variação (CV), primeiro quartil (Q1), mediana (Md), terceiro quartil (Q3) e 95º percentil (P95) da Radiação de Onda Longa Atmosférica (Ra), em $W.m^{-2}$, na estação chuvosa.....52
- Tabela 7** – Média (\bar{x}), desvio padrão (DP), assimetria (As), curtose (K), coeficiente de variação (CV), primeiro quartil (Q1), mediana (Md), terceiro quartil (Q3) e 95º percentil (P95) da Radiação de Onda Longa Superficial (Rs), em $W.m^{-2}$, na estação chuvosa.....56
- Tabela 8** – Média (\bar{x}), desvio padrão (DP), assimetria (As), curtose (K), coeficiente de variação (CV), primeiro quartil (Q1), mediana (Md), terceiro quartil (Q3) e 95º percentil (P95) do Balanço de Onda Longa (BOL), em $W.m^{-2}$, na estação chuvosa.....60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

As	Assimetria
BOL	Balanço de Ondas Longas
Conab	Companhia nacional de abastecimento
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CECA	Centro de Ciências Agrárias
CV	Coeficiente de variação
CL	Condições de céu claro ou com pouca nebulosidade
DP	Desvio padrão
dn	Número do dia no calendário Juliano
Eo	Correção da excentricidade do raio vetor da órbita da Terra
H	Ângulo horário
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
K	Curtose
Kt	Índice de transmissividade atmosférica
MMA	Ministério do Meio Ambiente
Md	Mediana
NB	Céu nublado ou com alta nebulosidade
OL	Radiação de Onda Longa
P95	95º percentil
POAS	Perturbações Ondulatórias dos Ventos Alísios
PN	Céu parcialmente nublado ou com média nebulosidade
Q1	Primeiro quartil
Q3	Terceiro quartil
Ra	Radiação de Onda Longa Atmosférica
Ro	Radiação solar incidente no topo da atmosfera
Rg	Radiação Solar incidente na superfície terrestre
Rs	Radiação de Onda Longa Terrestre
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
So	Constante solar
Tar	Temperatura média do ar

UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UR	Umidade relativa média do ar
VCAN	Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis
Z	Ângulo zenital

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Mata Atlântica	17
2.2 Importância da Mata Atlântica como Hotspot	18
2.3 Cana-de-açúcar	19
2.4 Balanço de Ondas Longas	21
2.4.1 Balanço de Ondas Longas em florestas	23
2.4.2 Balanço de Ondas Longas em canaviais	24
3 MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 Descrições das áreas de estudo	26
3.2 Medidas Micrometeorológicas	27
3.3 Estimativa do índice de transmissividade da atmosfera (kt)	29
3.4 Estatística descritiva dos dados	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Estação seca	31
4.1.1 Precipitação	31
4.1.2 Radiação Solar Global (R_g)	32
4.1.3 Onda Longa Atmosférica (R_a)	34
4.1.4 Onda Longa Superficial (R_s)	38
4.1.5 Balanço de Ondas Longas (BOL)	42
4.1 Estação chuvosa	46
4.2.1 Precipitação	46
4.2.2 Radiação Solar Global (R_g)	47
4.2.3 Onda Longa Atmosférica (R_a)	50
4.2.4 Onda Longa Superficial (R_s)	54
4.2.5 Balanço de Ondas Longas (BOL)	59
5 CONCLUSÕES	64
REFERÊNCIA	66

1 INTRODUÇÃO

O bioma Mata Atlântica é importante em diversos aspectos que vão desde sua flora e fauna a questões socioeconômicas e climáticas. O mesmo foi, ao longo dos séculos desde a colonização, degradado e pouco se sabe a respeito de sua extensão original (MOURA, 2006). Hoje os dados mostram sua degradação com anos com índices mais elevados e anos com índices menos elevados, mas contínuos (SOS Mata Atlântica, 2018).

Em Alagoas o cenário não é diferente, pois em seu processo de colonização a Mata Atlântica foi substituída principalmente pela cultura da cana-de-açúcar (SANTOS et al., 2007), onde atualmente são plantados 432 mil hectares (IBGE, 2018). Isso gera um impacto significativo, pois o desmatamento altera as trocas de energia entre a superfície e atmosfera (BIUDES, 2012).

Essas mudanças alteram a emissão de Radiação de Onda Longa (OL) pela superfície (R_s), uma vez que a mesma está condicionada as características de aquecimento e resfriamento, pois a emissão de OL é diretamente proporcional à quarta potência da sua temperatura (Lei de Stefan-Boltzmann). Não só à superfície, mas também a atmosfera emite radiação de OL (R_a). A R_a é diretamente influenciada pela concentração dos constituintes atmosféricos que mais interagem com a radiação, como o vapor d'água, dióxido de carbono e ozônio. O Balanço de OL (BOL) é a diferença entre a R_a e R_s . O BOL normalmente é negativo pelo fato da superfície ter maiores temperaturas que a atmosfera.

Medição direta dessas variáveis é o método mais preciso, mas são poucas as medidas regulares à superfície de OL emitidas pela atmosfera e superfície. Também são escassos os estudos microclimáticos, principalmente relacionados a OL, sobre Floresta de Mata Atlântica (CARNEIRO et al., 2013). Desta forma, evidencia-se, que não há registros de séries de dados similares, bem como nenhuma análise símile para região de Mata Atlântica em fonte indexada.

Em decorrência do exposto, o principal objetivo desse trabalho foi caracterizar a variabilidade sazonal e o impacto da substituição de Mata Atlântica por canavial no BOL, assim como verificar a influência de variáveis micrometeorológicas (precipitação, nebulosidade, R_g , R_a e R_s) sobre o BOL através de medições em um fragmento remanescente de floresta de Mata Atlântica e canavial no estado de Alagoas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Mata Atlântica

É definido Mata Atlântica, segundo a lei 11.428/2006, formações florestais nativas e ecossistemas associados: Floresta Ombrófila Densa, Ombrófila Mista, Ombrófila Aberta, Estacional Semidecidual; e Floresta Estacional Decidual, bem como os manguezais, as vegetações de restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste (MMA, 2017). Originalmente, a Mata Atlântica abrangia cerca de 15% do território brasileiro, ocorrendo ao longo da costa do Piauí ao Rio Grande do Sul, abrangendo 17 estados brasileiros e estendendo-se por centenas de quilômetros continente adentro.

A Mata Atlântica é um dos biomas mais ricos em diversidade de espécies, porém mais ameaçadas do planeta. Hoje, restam apenas 12,4% da floresta que existia originalmente e, desses remanescentes, 80% estão em áreas privadas (SOS Mata Atlântica, 2019). Esse bioma abriga milhares de animais e plantas: são mais de 15.700 espécies de planta, ou seja, cerca de 5% da flora mundial, sendo 8 mil endêmica; e mais de 2 mil espécies de animais vertebrados, sem contar os insetos e outros animais invertebrados (SOS Mata Atlântica, 2017).

Além de ser uma das regiões mais ricas do mundo em biodiversidade, tem importância vital para aproximadamente 120 milhões de brasileiros que vivem em seu domínio, onde são gerados aproximadamente 70% do PIB brasileiro, prestando importantíssimos serviços ambientais. Regula o fluxo dos mananciais hídricos, assegura a fertilidade do solo, suas paisagens oferecem belezas cênicas, controla o equilíbrio climático e protege escarpas e encostas das serras, além de preservar um patrimônio histórico e cultural imenso. Neste contexto, as áreas protegidas, como as Unidades de Conservação e as Terras Indígenas, são fundamentais para a manutenção de amostras representativas e viáveis da diversidade biológica e cultural da mata Atlântica (MMA, 2010).

Não se sabe exatamente qual a área original da Mata Atlântica alagoana porque, assim como em outros estados brasileiros, as primeiras avaliações da cobertura vegetal só ocorreram no início do século XX, quando boa parte das matas já havia sido destruída (MOURA, 2006).

Em Coruripe existe uma área de Mata Atlântica de 12.283,41 ha, cerca de 13,38% da área do município. Os quais são formações naturais constituídos por

11.632 ha de mata, 435 ha de mangue, 204 ha de banhados e áreas alagados e 10 ha de várzea. Em Rio Largo tem-se 5.879,02 ha de Mata Atlântica que representa 19,19% da área do município (Aqui tem Mata, 2017).

Na Mata Atlântica entre 2016 e 2017 foram destruídos 12.562 hectares (ha) ou 125 Km² nos 17 estados do bioma. Isso significa uma queda de 56,8% em relação ao período de 2015 e 2016 que teve desmatamento de 29.075 ha. Este é o menor valor total de desmatamento da série histórica do monitoramento desde 1985. Alagoas ficou em 8º entre os 17 estados no ranking de desflorestamento no período de 2016 e 2017 (SOS Mata Atlântica, 2018).

Segundo o relatório do SOS Mata Atlântica (2019) o desmatamento na Mata Atlântica entre 2017 e 2018 caiu 9,3% em relação ao período anterior (2016-2017), que por sua vez já tinha sido o menor desmatamento registrado pela série histórica do Atlas da Mata Atlântica. Dos 17 estados, nove estão no nível do desmatamento zero, com desflorestamentos abaixo de 100 hectares, ou 1 Km². São eles: Ceará (7 ha), Alagoas (8 ha), Rio Grande do Norte (13 ha), Rio de Janeiro (18 ha), Espírito Santo (19 ha), Paraíba (33 ha), Pernambuco (90 ha), São Paulo (96 ha) e Sergipe (98 ha). Outros três estados estão a caminho desse índice: Mato Grosso do Sul (140 ha), Rio Grande do Sul (171 ha) e Goiás (289 ha). No ranking de desmatamento, Alagoas ficou em penúltimo lugar com redução de 97% do desmatamento em relação ao período anterior.

2.2 Importância da Mata Atlântica como Hotspot

Os Hotspots são zonas de perigo, ou seja, áreas de elevada biodiversidade, sujeitas a um altíssimo risco de desaparecer. Para ser considerado um Hotspot uma área deve possuir pelo menos 1.500 espécies de plantas endêmicas e já ter perdido mais de três quartos da sua vegetação original. No Brasil, dois biomas são incluídos entre os 25 Hotspots do planeta: a mata Atlântica e o Cerrado (MOURA, 2006).

Mata Atlântica é um Hotspot mundial e também decretada Reserva da Biosfera pela Unesco e Patrimônio Nacional, na Constituição Federal de 1988 (SOS Mata Atlântica, 2015).

A cobertura de áreas protegidas na Mata Atlântica avançou expressivamente ao longo dos últimos anos, com a contribuição dos governos federais, estaduais e mais recentemente dos governos municipais e iniciativa privada. No entanto, a maior parte dos remanescentes de vegetação nativa ainda permanece sem proteção. Assim,

além do investimento na ampliação e consolidação da rede de áreas protegidas, as estratégias para a conservação da biodiversidade visam contemplar também formas inovadoras de incentivos para a conservação e uso sustentável da biodiversidade, tais como a promoção da recuperação de áreas degradadas e do uso sustentável da vegetação nativa, bem como o incentivo ao pagamento pelos serviços ambientais prestados pela mata Atlântica. Cabe enfatizar que um importante instrumento para a conservação e recuperação ambiental na mata Atlântica, foi a aprovação da Lei 11.428, de 2006 e o Decreto 6.660/2008, que regulamentou a referida lei (MMA, 2010).

O estado de conservação da Mata Atlântica é crítico e faz-se necessário e urgente a proteção da sua biodiversidade, em seus diferentes níveis – espécies, áreas protegidas e corredores de biodiversidade –, a partir da formação de uma rede interinstitucional capaz de desenvolver esforços e ações integradas de planejamento e intervenção em escalas abrangentes e adequadas, incluindo a imprescindível mobilização geral da sociedade em sua defesa (PINTO et al., 2006). Baseado nos atuais níveis de degradação desse ecossistema, sua biodiversidade já está comprometida, onde certamente muitas espécies já foram extintas antes mesmo de serem descritas pela ciência. Entretanto, a floresta atlântica, mesmo reduzida à área atual, colabora em muito para que o Brasil seja considerado um país de megabiodiversidade (ALMEIDA, 2016).

Segundo Cardoso (2016), atualmente a Mata Atlântica é considerada provavelmente o bioma mais devastado e ameaçado do planeta, sofrendo um ritmo de mudanças que está entre os mais rápidos observados. A necessidade de ações que visem à conservação é de grande urgência. O processo de devastação foi iniciado na colonização do Brasil. O bioma, por se estender ao longo da costa do país, sofreu os impactos dos diversos ciclos econômicos pelos quais o Brasil passou durante sua história, particularmente o processo mais recente de urbanização e crescimento das cidades.

2.3 Cana-de-açúcar

Segundo Santos et al. (2007), o processo de ocupação no estado de Alagoas iniciou com o colonizador português. Os solos férteis e bem drenados e a boa navegabilidade dos rios, que recortavam toda a costa alagoana, foram os principais

atrativos. Beneficiada pelas condições ambientais, logo a cultura da cana-de-açúcar ganhou espaço conquistando novas terras e atraindo trabalhadores para os seus tratos. Assim, os engenhos cresceram rapidamente. O crescimento da cultura da cana-de-açúcar ao longo do tempo trouxe consequências ao meio ambiente que o novo modelo de ocupação espacial imposto pela monocultura açucareira intensificou a ação antrópica, aumentando a pressão sobre os recursos naturais e, com tais ações, não demorou para que grande parte da vegetação natural fosse devastada.

De acordo com a companhia nacional de abastecimento, na safra 2017/2018 estima-se uma área colhida de 8.729,5 mil hectares de cana-de-açúcar destinada à atividade sucroalcooleira (Conab, 2018). Em Alagoas a área colhida foi de 303,8 mil hectares, 5,7% menor que a safra anterior, que foi de 322,2 mil hectares.

Entre 1980 e 2017 em Alagoas (figura 1) foram plantados, em média, 432 mil hectares de cana de açúcar, que correspondem a 15,55% da área do estado. Durante esse período ocorreram muitas variações do setor sucro-alcooleiro que tiveram como principais causas as demandas externadas, desenvolvimento tecnológicos e incentivos governamentais.

Após a década de 80 ocorreu um grande crescimento do setor sucro-alcooleiro que foi ocasionado devido a modernização do setor e qualidade de matéria prima. O maior responsável por esse avanço foi o PROÁLCOOL. Este foi criado como alternativa energética para minimizar o impacto da crise do petróleo, através do estímulo à produção do álcool anidro com fins carburantes. Diante disso, houve o incentivo à expansão das destilarias demandando o aumento da área plantada de cana-de-açúcar e, conseqüente, redução da cobertura vegetal original. As intervenções no meio natural foram tão devastadoras que fizeram deste programa o maior responsável pelos impactos ambientais gerados pela agroindústria canavieira (SANTOS et al., 2007).

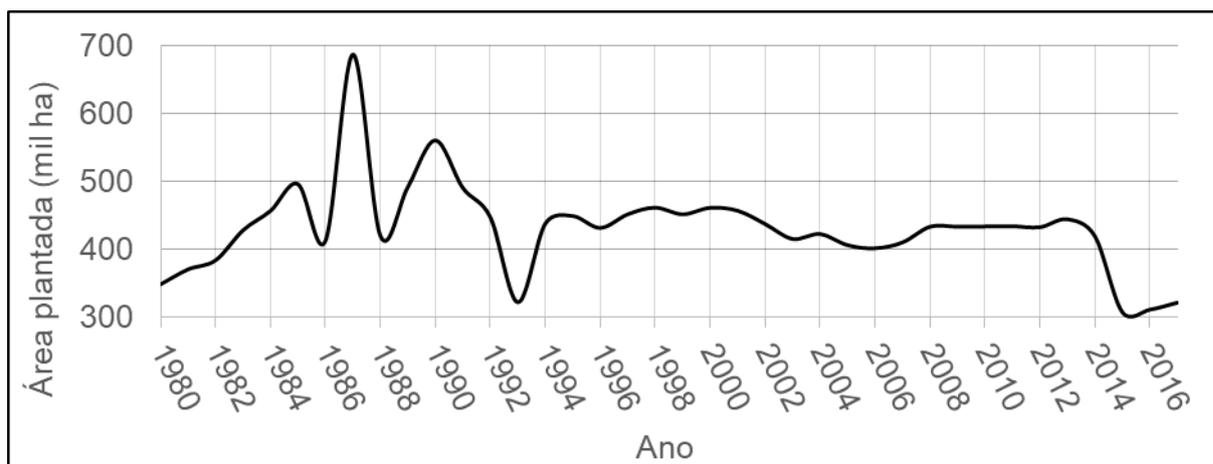


Figura 1 – Área de cultivo da cana-de-açúcar em Alagoas entre 1980 e 2017. Fonte: IBGE (2017).

2.4 Balanço de Ondas Longas

A radiação de onda longa é o fluxo radiante de energia resultante da emissão dos gases atmosféricos e de superfícies líquidas e sólidas da Terra. Todos os materiais sobre a Terra possuem uma temperatura mais baixa que a do Sol, tal que a radiação que eles emitem tem comprimentos de ondas maiores que a da radiação solar global. A maior parte da radiação emitida pela Terra e atmosfera está contida no intervalo de 4 a 100 μm e por isto recebe a denominação de radiação de onda longa (GALVÃO e FISCH, 2000).

Segundo Pashiardis et al. (2017) a radiação ascendente e descendente de ondas curtas e ondas longas são os fluxos envolvidos no processo de troca de energia entre a superfície do solo e a atmosfera. A troca de radiação de ondas longas é um processo bidirecional. Radiação de ondas longas emitidas pela atmosfera (radiação descendente) é absorvida pela superfície da terra e, simultaneamente, que é emitida a partir da superfície do solo para a atmosfera (radiação ascendente).

A emissão de radiação de onda longa emitida pela atmosfera depende da concentração dos seus constituintes que mais interagem com a radiação, como o vapor d'água, dióxido de carbono e ozônio. É evidente que, sendo a concentração dos dois últimos praticamente inalterável, as maiores variações dessa emissão ocorrem pelas variações de concentração da umidade relativa do ar, nuvens e também pela presença anormal de partículas sólidas (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Já a emissão de onda longa emitida pela superfície vai depender da capacidade de absorção e armazenamento da radiação solar. No geral as superfícies com maiores coberturas vegetais (SOUZA et al., 2013; GOMES et al., 2015), rios e mares — devido

a maior capacidade térmica da água — armazenam mais radiação solar e tem menos trocas intensas de energia (emissão de radiação de onda longa) com a atmosfera que solos desnudos ou com pouca vegetação.

O Balanço de Ondas Longas (BOL) é a diferença entre a radiação de onda longa emitida pela atmosfera e a radiação de onda longa emitida pela superfície terrestre. O BOL normalmente é negativo pelo fato da superfície ter maiores temperaturas que a atmosfera. O conhecimento do BOL é importante para caracterização das trocas de energia na interface superfície-atmosfera durante o período noturno (MESQUITA et al., 2013).

Estudos climáticos envolvendo radiação solar e terrestre são importantes, pelo fato de ser esta a principal fonte de energia para os processos físicos e biológicos na atmosfera (LEITÃO, 1994).

As nuvens são extremamente eficientes na absorção de ondas longas, atuando no espectro de radiação na faixa de comprimentos de onda referente à janela atmosférica de 8 a 12 μm (SOUZA-FILHO et al., 2006), ou seja, quanto maior a nebulosidade, menores serão as perdas radiativas para níveis elevados da atmosfera e para o espaço.

Da energia emitida pela superfície terrestre em forma de onda longa (infravermelho), somente uma pequena fração escapa para o espaço, em sua maior parte na faixa de 8 a 11,5 μm de comprimento de onda (janela atmosférica), onde praticamente não ocorre absorção alguma pelos componentes da atmosfera. O restante da radiação emitida pela superfície é absorvido pela atmosfera. Assim, embora praticamente transparente à radiação visível, a atmosfera mostra-se quase completamente opaca no que tange à energia térmica (VAREJÃO-SILVA, 2006).

A atmosfera emite radiação infravermelha em direção ao espaço e à superfície da Terra. A camada atmosférica situada a até 4 km de altura é responsável, em média, por cerca de 98% do fluxo de calor que atinge à superfície, procedente da atmosfera (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Segundo Liberato e Cardoso (2010), o fluxo de radiação de onda longa terrestre resulta principalmente da capacidade da superfície em emitir radiação, sendo proporcional à quarta potência da temperatura absoluta da superfície. Observaram também que mudança na cobertura vegetal de floresta para pastagem aumenta a

reflexão de radiação de onda curta e emissão de radiação de onda longa da superfície e reduz o saldo de radiação à superfície.

A radiação de onda longa atmosférica está ligada aos constituintes atmosféricos e, conseqüentemente, à temperatura do ar, sendo assim, elemento fundamental em estudos relacionados ao aquecimento global. Por ser um componente importante no fluxo de energia global, alteração no comportamento médio da radiação de onda longa atmosférica sobre diferentes biomas podem estar atreladas a mudanças do clima. Assim, a compreensão da emissão da radiação de onda longa atmosférica é crucial para estudos climáticos, pois seu fluxo é um importante componente da troca radiativa no nível da superfície (QUERINO, 2016).

2.4.1 Balanço de Ondas Longas em florestas

Em estudo na floresta amazônica em Rondônia, Liberato e Cardoso (2010) encontraram valor máximo da média horária de radiação de onda longa da superfície durante o período de céu claro de 481 W.m^{-2} e radiação de onda longa incidente na superfície de 419 W.m^{-2} . Constataram ainda que a cobertura de nuvens altera o comportamento dos componentes do balanço de radiação à superfície, sendo os balanços de radiação durante os períodos seco e chuvoso diferentes, apresentando maiores valores durante o período chuvoso.

Estudo realizado por Moura (2001), em uma floresta tropical em Rondônia, observou que em média os valores máximos (452 W.m^{-2}) de onda longa incidente ocorreram em torno das treze horas e os mínimos ($417,0 \text{ W.m}^{-2}$) às vinte horas. Foi observado fluxo diário máximo de radiação de onda longa emitido pela superfície em torno das treze horas ($481,8 \text{ W.m}^{-2}$) e mínimos às seis horas ($439,6 \text{ W.m}^{-2}$).

Souza-Filho et al. (2006), em um estudo na região nordeste da Amazônia, encontraram valores médios, para o período chuvoso e menos chuvoso, de radiação de onda longa emitida pela superfície terrestre ($433,0 \text{ W.m}^{-2}$) maior que a radiação de onda longa emitida pela atmosfera (417 W.m^{-2}). Observaram também que os valores do balanço diário de radiação de onda longa foram sempre negativos pelo fato da radiação terrestre ser maior que a radiação emitida pela atmosfera.

Resultados encontrados por Souza et al. (2015), em bioma de Caatinga, constataram que no dia com maior nível de cobertura vegetal do solo houve temperaturas menores próximo ao meio dia. Associam essas menores temperaturas

com a menor emissão de radiação de onda longa emitida pela superfície, se comparado com outro dia com maior temperatura. Relatam ainda que as mudanças observadas na vegetação de caatinga durante um ano de extrema seca influenciaram no padrão de resposta da vegetação em termos de radiação refletida e emitida pelo dossel e, por sua vez, no balanço de radiação à superfície.

Pires et al. (2018), em estudo na caatinga, onde encontraram para o primeiro e segundo semestre no período de estudo, menor BOL no segundo semestre, o qual foi relacionado com a diminuição da radiação de ondas longas emitidas pela atmosfera e aumento de radiação de ondas longas emitidas pela superfície. Constataram ainda que o aumento de radiação de ondas longa emitida pela superfície pode estar associada a diminuição da cobertura vegetal da Caatinga, característica comum expressada pela vegetação nesse período do ano, contribuindo para haver maior exposição do solo e, conseqüentemente, aumento da temperatura do solo.

Resultados encontrado por Querino (2016), no pantanal mato-grossense, mostram que as radiações de onda longa emitidas pela atmosfera e pela superfície terrestre apresentaram comportamento similares ao da radiação solar global. As maiores médias de radiação de onda longa emitidas pela atmosfera e pela superfície terrestre foram registradas na estação chuvosa, enquanto os menores médios durante a estação seca. Notou ainda que quando se analisa a radiação de onda longa emitidas pela atmosfera e pela superfície terrestre observa-se um comportamento sazonal semelhante aos da temperatura do ar. Relata que essa relação fica evidente ao observar a correlação com da radiação de onda longa atmosférica com a temperatura do ar, onde há elevado índice de correlação e alto nível de significância.

2.4.2 Balanço de Ondas Longas em canaviais

Estudo realizado por Carmo et al. (2013), em um canal no município de Juazeiro – BA, observaram que para o dia ensolarado a condição de céu limpo ocorreu radiação de onda longa emitida pela atmosfera inferior ao da emitida pela superfície, o qual teve seus valores elevados atribuídos à alta disponibilidade de radiação solar global, o que fez com que o balanço de onda longa desse dia se apresentasse menor do que para dia nublado. No estudo foram considerados quatro estádios de desenvolvimento da cana de açúcar onde concluíram que os menores saldo de radiação, em contraste com os maiores da radiação solar global disponível nas fases

inicial e final de desenvolvimento, se deram pelo fato de parâmetros de superfície terem influenciado consideravelmente a radiação de onda longa emitida pela atmosfera e superfície, principalmente no albedo e, conseqüentemente, nos balanços de onda curta e longa.

Resultados encontrados por Silva et al. (2011), em Juazeiro-BA, relatam que no período antes dos 132 dias após o corte o R_n foi reduzido em decorrência dos baixos valores de R_g e do índice área foliar. Após esse período constataram um aumento de incidência de radiação solar global e no índice de área foliar, com isso a quantidade de radiação associada ao BOL apresentou tendência decrescente (menos negativa), em função da maior retenção de energia pelo dossel da cultura e, conseqüentemente, menor incidência de radiação solar sobre a superfície do solo.

Carvalho et al. (2018) averiguaram que os componentes do balanço de radiação foram semelhantes quanto a sazonalidade da radiação solar global, radiação de onda longa emitida pela atmosfera e pela superfície em um canavial e caatinga no semiárido brasileiro no período de transição seco/ chuvoso. Constataram ainda que a alta incidência de radiação solar global aumentou o ganho de energia e, por conseguinte, a temperatura do solo e a baixa nebulosidade durante esse período reduziu a radiação de ondas longas reemitida da atmosfera para a superfície, apresentando-se maior no período chuvoso.

Os mesmos autores relatam ainda que o aumento do índice de cobertura vegetal da cana-de-açúcar resultou em menor emissão de radiação emitida pela superfície, por causa da maior reflexão da superfície, ou seja, neste período, uma menor quantidade de energia foi absorvida pela cultura, quando comparado à caatinga. Com o aumento do índice de cobertura vegetal da cana-de-açúcar, a radiação emitida pela superfície tendeu a ser maior durante o período chuvoso/seco.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrições das áreas de estudo

O estudo foi realizado nos municípios de Rio Largo e Coruripe, Alagoas (figura 2). Em Coruripe o estudo foi conduzido em uma Floresta Ombrófila Aberta em transição para Floresta Estacional Semidecidual com uma área de 68,6 ha (MACHADO, 2003) localizadas dentro da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) – Lula Lobo I pertencente a Usina Coruripe.

Em Rio Largo o estudo foi em um Canavial no Centro de Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). O canavial tinha espaçamento alternado de 1,5x0,9 m, onde as parcelas foram compostas de seis linhas com seis metros de comprimento, totalizando 40 parcelas. O plantio foi em 22/07/16 com primeiro corte em 06/09/2017 e o segundo em 25/09/2018.

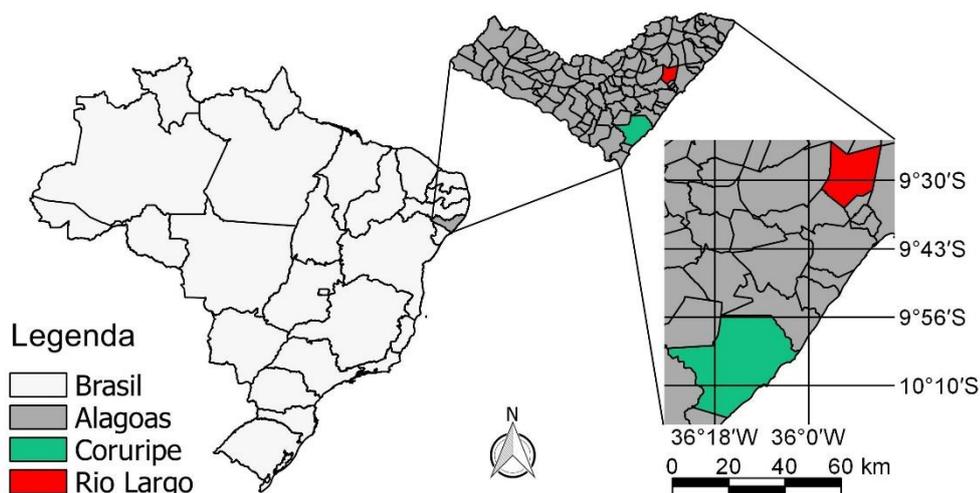


Figura 2 - Localização geográfica das áreas de estudo.

Os dois municípios estão localizados na zona da mata que, na classificação climática de Köppen, o clima é tropical com chuvas de outono-inverno (As'), com uma estação seca bem definida (BARROS et al., 2012). O regime de chuvas em Alagoas está relacionado com os mecanismos produtores de chuvas: Perturbações Ondulatórias dos Ventos Alísios (POAS), Brisas, Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN), Ondas de Leste, Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM). Enquanto o período de seca, com algumas secas severas, está relacionado com variações que ocorrem na circulação de grande escala e, possivelmente, por mecanismos externos ao sistema terra-atmosfera-oceano (MOLION & BERNARDO, 2000).

As normais climatológicas de precipitação dos municípios (estação mais próxima de Rio Largo é em Maceió, ~12 km) são semelhantes (figura 3A). São registrado anualmente, em média, totais de 1258,55 mm em Coruripe e 1918,74 mm em Maceió (ANA, 2019). Os dois locais apresentam uma quadra chuvosa bem definida de abril a julho, períodos secos de novembro a fevereiro e período de transição em março, agosto, setembro e outubro.

A climatologia da temperatura (Tar) e umidade relativa do ar (UR) dos dois municípios tem sazonalidade semelhante (figura 3B), com temperaturas menores próximo a julho/agosto e maiores próximo a dezembro/janeiro com média anual de 24,8° C em Maceió e 25,2° C em Coruripe. Já umidade relativa do ar é maior em maio e, menor próximo a novembro/dezembro, cuja média anual é de 78,5% (Maceió) e 82,9% (Coruripe) (INMET, 2009).

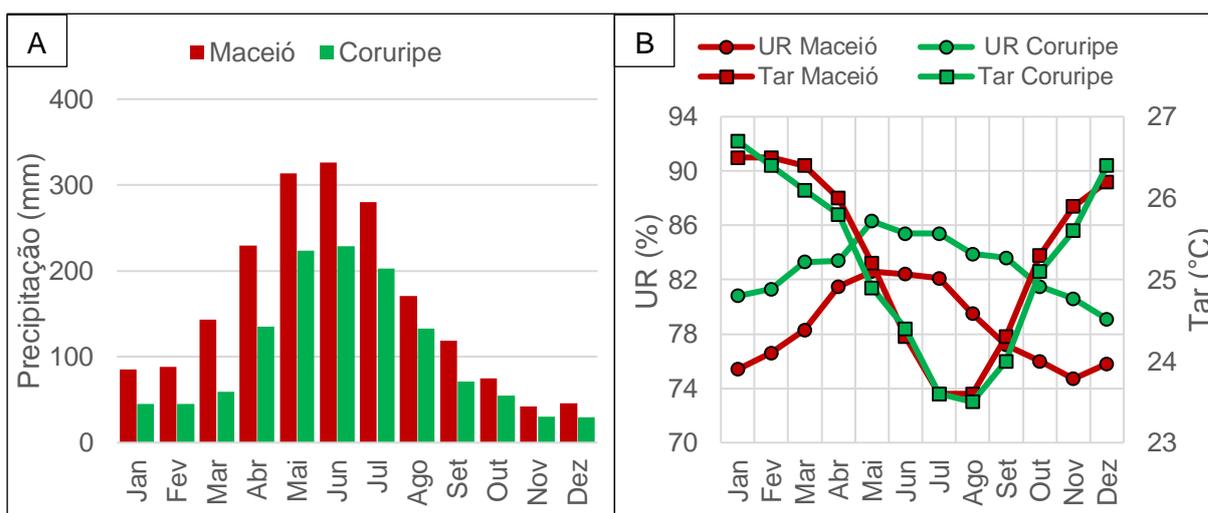


Figura 3 - Normais climatológicas dos municípios de Maceió e Coruripe: A) precipitação; B) umidade relativa do ar (UR) e temperatura média do ar (Tar). Fonte: ANA (2019); INMET (2009).

3.2 Medidas Micrometeorológicas

Em Coruripe foram analisados os dados do período de 03/11/2016 a 31/12/2016 (estação seca) e 01/05/2017 a 30/06/2017 (estação chuvosa). Os registros foram realizados a cada 20 segundos por equipamentos instalados acima da copa das árvores, em uma torre micrometeorológica (figura 4a) (10°00'37"S, 36°17'60"W, 160 m alt.) com 26m e as médias armazenadas a cada 10 minutos em dois dataloggers (CR10X, Campbell Scientific). As medições da radiação de onda longa atmosférica (Ra) e terrestre (Rs) e radiação solar global incidente (Rg) e refletida foram realizadas por um saldo radiômetro modelo CNR1 da Kipp e Zonen (Delft, Holanda). A

precipitação foi registrada por um pluviômetro TE 525 (Texas Instruments, USA). Para o mesmo período estudado foram utilizados dados de temperatura e umidade relativa do ar da estação automática do INMET ($10^{\circ}07'42''\text{S}$, $36^{\circ}17'10''\text{W}$, 82 m alt.) localizada no município de Coruripe, Alagoas.

Em Rio Largo, foi montado um tripé micrometeorológico (figura 4b) ($09^{\circ}28'03''\text{S}$, $35^{\circ}49'49''\text{W}$) para aquisição dos dados no período 03/11/2017 a 31/12/2017 (estação seca) e 01/05/2018 a 30/06/2018 (estação chuvosa) com os mesmos instrumentos e nas mesmas condições do experimento na floresta (figura 5). Também foram utilizados dados para o mesmo período de estudo de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar da estação agrometeorológica ($9^{\circ}28'29,1''\text{S}$, $35^{\circ}49'43,6''\text{W}$, 127 m alt.) do Centro de Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

Os períodos de estudo nos dois sítios, maio-junho e novembro-dezembro, são os bimestres com maiores e menores registros de precipitação, respectivamente, de acordo com a normal climatológica dos municípios.

Após a aquisição dos dados, os mesmos foram analisados, tratados e calculado às médias horárias, diária e horária-bimestral e confeccionados os gráficos com softwares adequados.

O BOL e suas componentes, R_a e R_s , foram também analisados em dias com condições nublado (NB), parcialmente nublado (PN) e céu claro (CL) de acordo com o índice de transmissividade atmosférica (K_t).

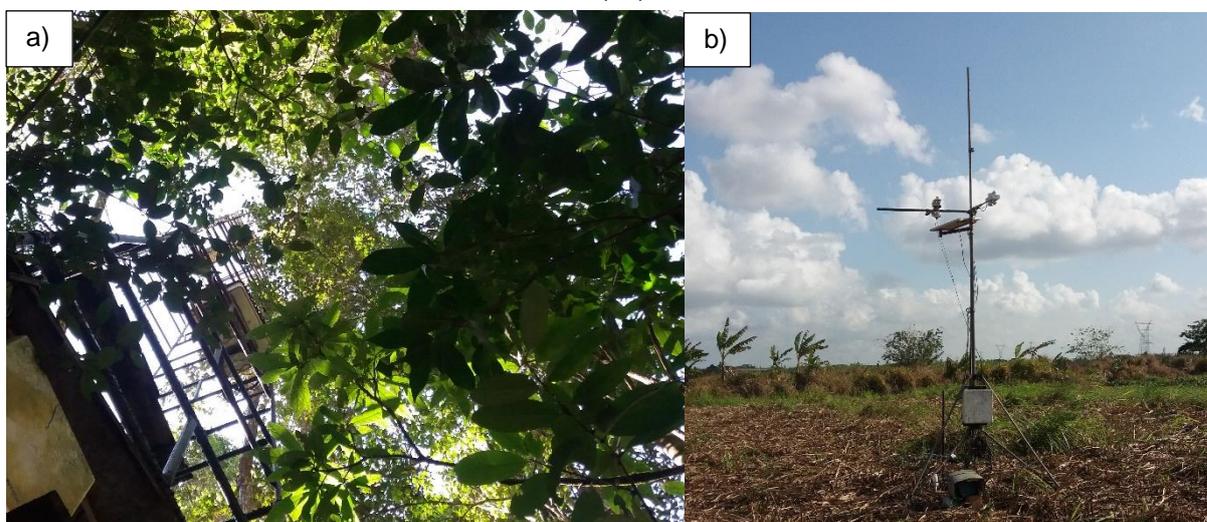


Figura 4 – Imagem ilustrativa da Torre (a) e tripé (b) micrometeorológicos utilizados no experimento.

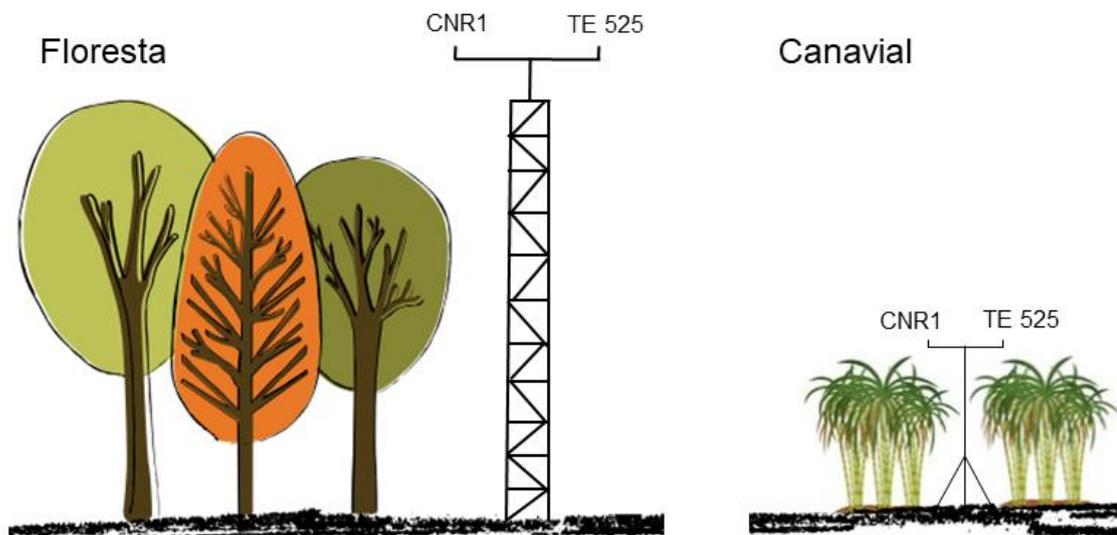


Figura 5 - Layout da torre micrometeorológica localizada na floresta (Coruripe) e do tripé micrometeorológico localizado no canavial (Rio Largo) utilizados neste estudo.

3.3 Estimativa do índice de transmissividade da atmosfera (kt)

O índice de transmissividade da atmosfera (Kt) foi calculado a partir da razão entre a radiação solar incidente na superfície terrestre (Rg) e a radiação solar incidente no topo da atmosfera (Ro), como na equação a baixo:

$$K_t = \frac{R_g}{R_o} \quad (1)$$

O Ro foi estimado de acordo com IQBAL (1983), que é em função latitude do local (φ), constante solar ($S_o=1367 \text{ W.m}^{-2}$), declinação solar (δ), correção da excentricidade do raio vetor da órbita da Terra (E_o) e ângulo zenital (Z), conforme a seguinte equação:

$$R_o = S_o \cdot E_o \cdot \cos Z \quad (2)$$

onde:

$$E_o = 1 + 0,0033 \cdot \cos\left(\frac{2\pi dn}{365}\right) \quad (3)$$

em que dn é o número do dia no calendário Juliano. Já o ângulo zenital solar (Z) é dado pela equação:

$$\cos Z = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos H \quad (4)$$

sendo δ a declinação solar e H o ângulo horário, calculados com as respectivas expressões:

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left[\frac{360}{365} (284 + dn) \right] \quad (5)$$

$$H = (\text{Hora}-12) \cdot 15 \quad (6)$$

Foram adotados os intervalos de referência da transmitância atmosférica para a região de Maceió-AL de $K_t \geq 0,6$ (condições de céu claro (CL) ou com pouca nebulosidade), $0,4 \leq K_t < 0,6$ (céu parcialmente nublado (PN) ou com média nebulosidade) e $K_t < 0,4$ (céu nublado (NB) ou com alta nebulosidade) (LOPES JUNIOR, 2017).

3.4 Estatística descritiva dos dados

Para análise estatística foram utilizados os dados com registros a cada 10 min. Foram confeccionados gráficos de distribuição de frequência e boxplot, bem como calculado a média (\bar{x}) (equação 7), desvio padrão (DP) (equação 8), assimetria (A_s) (equação 9), curtose (K) (equação 10), coeficiente de variação (CV) (equação 11), primeiro quartil (Q1), mediana (Md), terceiro quartil (Q3) e 95º percentil (P95) segundo metodologia adotada por Guedes et al. (2005):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (7)$$

$$DP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (8)$$

$$A_s = \frac{\bar{x} - M_o}{DP} \quad (9)$$

$$K = \frac{(Q_3 - Q_1)}{2(P_{90} - P_{10})} \quad (10)$$

$$CV = \frac{DP}{\bar{x}} \quad (11)$$

Onde, n é o número de total de dados, M_o a moda, P_{10} 10º decil, P_{90} 9º decil e X os valores que foram observados das respectivas variáveis meteorológicas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estação seca

4.1.1 Precipitação

Na floresta de Mata Atlântica foram registrados 18,1 mm de precipitação nos meses de novembro e dezembro (figura 6), o qual correspondeu a apenas 30% da normal climatológica do município (59,95 mm). A precipitação abaixo do esperado em novembro foi em função principalmente nas Regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste da ausência de episódios bem configurados de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (CPTEC, 2016). Em dezembro, a chuva abaixo da média histórica foi resultado do escoamento anticiclônico anômalo sobre o leste da América do Sul e oceano adjacente (CPTEC, 2017). Assim, nesse período os dias tiveram uma média do Kt de $0,592 \pm 0,091$, os quais foram distribuídos da seguinte maneira: 3,45% NB, 44,83% PN e 51,72% CL.

Já no Canavial (figura 6) precipitou 83,57 mm, o qual foi próximo do esperado para este período (88,31 mm). Observa-se na figura que boa parte da precipitação foi na segunda quinzena de dezembro. O Kt médio diário foi $0,576 \pm 0,13$ e com dias distribuídos em 5,66% NB, 47,17% PN e 47,17% CL.

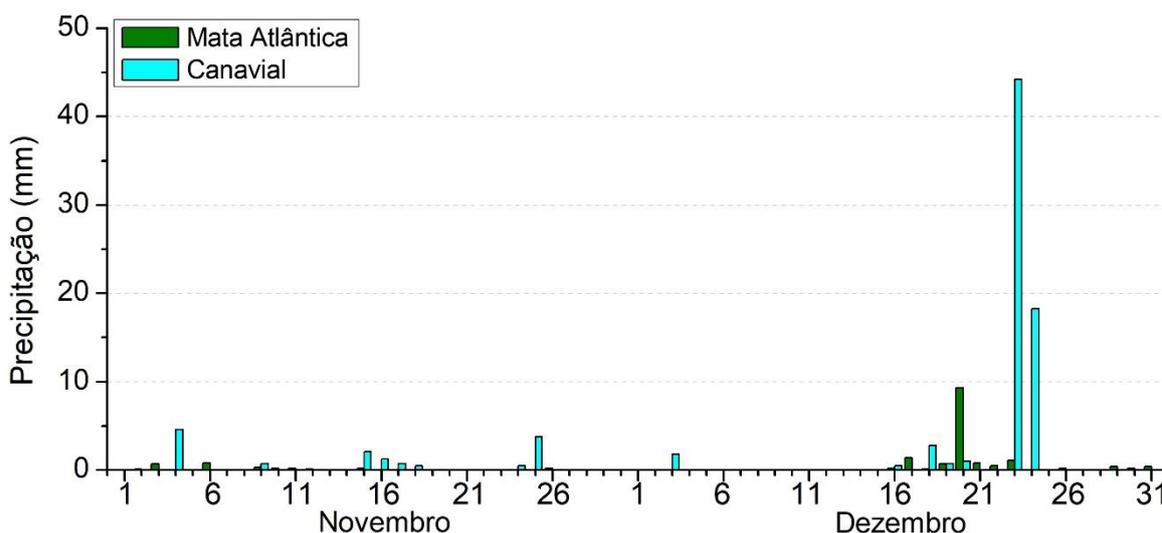


Figura 6 – Acumulado diário de Precipitação (mm) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação seca.

4.1.2 Radiação Solar Global (Rg)

Nos dois locais a Rg (figura 7) foram semelhantes com isolinhas em torno de 1000 W.m^{-2} próximo ao meio dia, exceto na primeira quinzena de novembro e segunda quinzena de dezembro em razão da atenuação causada pela precipitação/nebulosidade. Além da pouca nebulosidade neste período, a declinação solar negativa — nestes meses a declinação vai de $-23,45^\circ$ a $-15,96^\circ$ — que contribuem para uma maior incidência perpendicular da radiação à superfície.

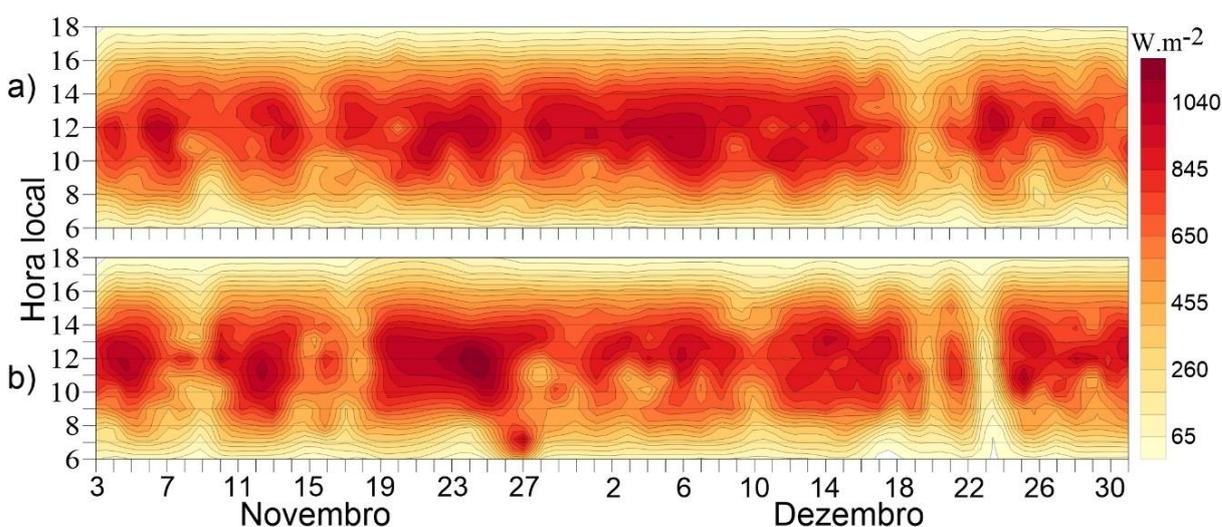


Figura 7 – Médias horárias-diárias de Radiação Solar Global (Rg) (W.m^{-2}) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação seca.

A média da Rg foi ligeiramente maior (8,5%) na floresta de Mata Atlântica do que no canavial (tabela 1) por efeito da menor nebulosidade (K_t maior). Entretanto, nos dois sítios se tem um alto coeficiente de variação (CV) que indica uma heterogeneidade dos dados. Esses CV's são resultados do desvio padrão (DP) ser próximos as médias. Os CV's são característicos da variação horária da Rg que, em aproximadamente 12 horas, vai de 0 W.m^{-2} (antes do nascer do Sol) até mais de 1000 W.m^{-2} (meio dia) e depois volta para 0 W.m^{-2} (pôr do Sol).

Por isso, observa-se outras medidas descritivas para uma melhor caracterização do conjunto de dados (tabela 1). O primeiro quartil (Q1), mediana (Md) e terceiro quartil (Q3) são maiores na floresta de Mata Atlântica, mas o 95º percentil (P95) próximos nos dois sítios e, com isso, observa-se que quanto maior as medidas separatrizes, a diferença é menor entre os dois sítios. Apesar desta diferença, as duas distribuições de frequência têm assimetrias (As) positivas com o lado mais longo do polígono à direita do centro (figura 8). Também tiveram as mesmas características

quanto ao grau de achatamento (K) da distribuição, os quais foram classificadas como leptocúrtica.

Em virtude da pouca precipitação na estação seca, as distribuições nos dois sítios não foram mais concentradas próximo a 0 W.m⁻². Por isso, os coeficientes de As são próximos a zero (assimétrica). Apenas o canal teve frequência acentuada próximo as menores Rg por ação da precipitação. Essa caracterização da distribuição é porque, como visto na figura 7, há uma incidência maior de Rg de ~ 650 W.m⁻² em um curto período de tempo, após o nascer e antes do pôr do Sol (observar tons vermelho), das 8 às 16 horas.

Tabela 1 – Média (\bar{x}), desvio padrão (DP), assimetria (As), curtose (K), coeficiente de variação (CV), primeiro quartil (Q1), mediana (Md), terceiro quartil (Q3) e 95º percentil (P95) da Radiação Solar Global (Rg), em W.m⁻², na estação seca.

Sítios	Medidas descritivas								
	\bar{x}	DP	As	K	CV	Q1	Md	Q3	P95
Mata Atlântica	531,79	305,11	0,0191	-1,021	0,5737	285	527,3	781	1018
Canavial	486,63	321,58	0,2050	-1,001	0,6608	216,2	470,15	732,5	1039

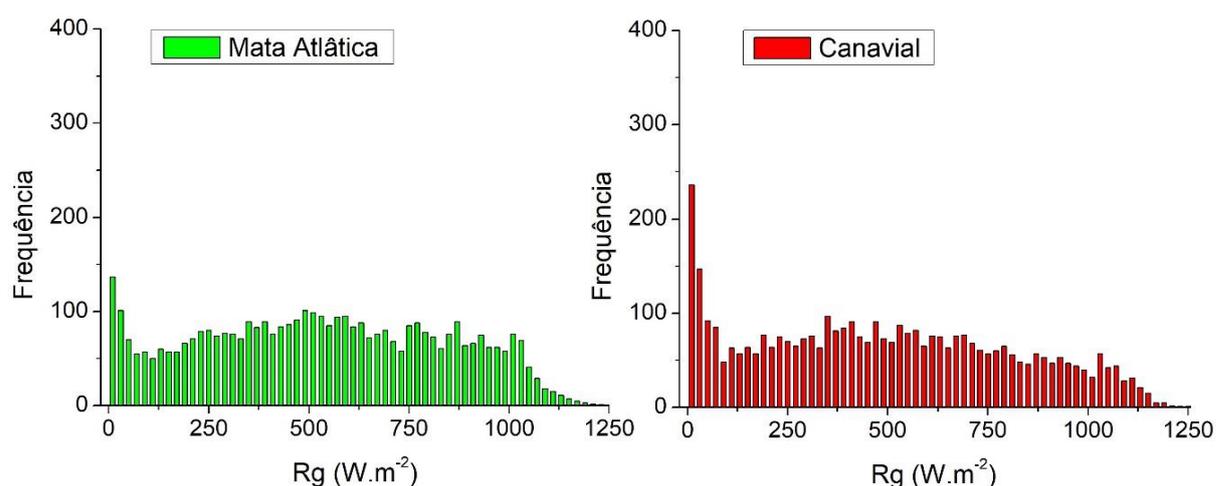


Figura 8 - Distribuição da frequência da Radiação Solar Global (Rg) (W.m⁻²) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação seca.

Observa-se que diariamente, com exceções dos dias com nebulosidade, a R_g comportou-se semelhante nos dois locais com a mediana no centro da distribuição (figura 9). A heterogeneidade foi, como relatado anteriormente, em virtude de sua variabilidade horária, que é vista nas distâncias interquartil, o qual resulta nos alongamentos das caldas à esquerda, uma vez que representa a distância no retângulo entre os mínimos (Q1) e máximos (Q3). Esse alongamento a esquerda (próximos aos mínimos da distribuição) é visto, por exemplo, no dia 23/12 (figura 9b) no canalial que no mesmo dia foi registrado o maior acumulado de precipitação (figura 6).

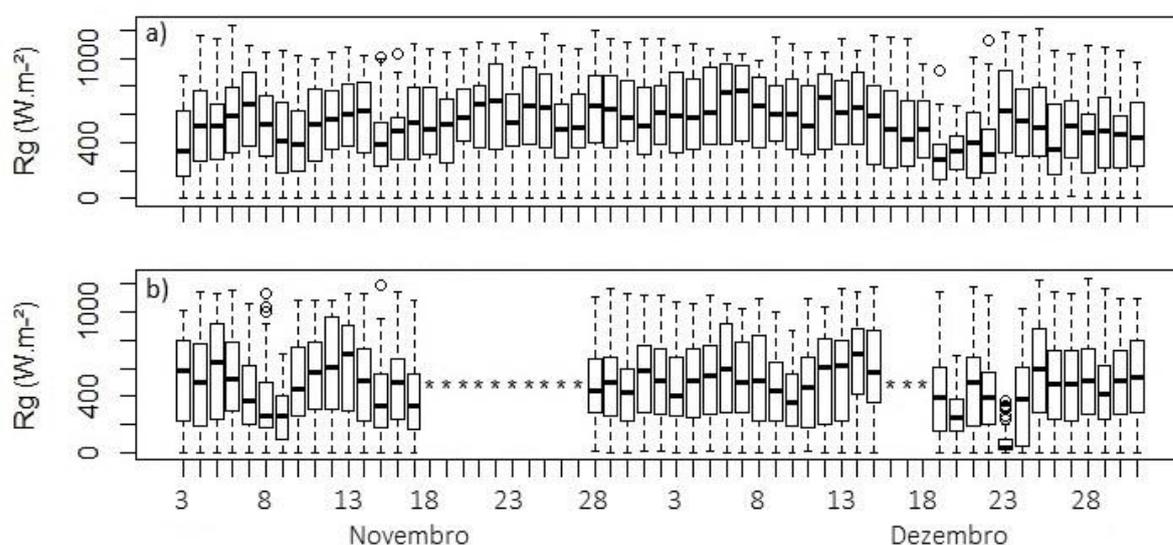


Figura 9 – Box Plot da Radiação Solar Global (R_g) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canalial na estação seca. *Dias com dados incompletos.

Resultados semelhantes foram encontrados por Querino et al. (2011) em um estudo em floresta de mangue em Alagoas, o qual encontraram R_g na estação seca com picos médios horários próximos às 14 horas de $900 W.m^{-2}$. Já resultados encontrados por Liberato & Cardoso (2010) na estação seca em uma floresta tropical, média diária de $19,32 MJ.m^{-2}.d^{-1}$, o qual foi um pouco abaixo do encontrado neste estudo (média de $22,66 MJ.m^{-2}.d^{-1}$ na floresta de Mata Atlântica e $21,22 MJ.m^{-2}.d^{-1}$ no canalial).

4.1.3 Onda Longa Atmosférica (R_a)

As variações horárias são próximas com isolinhas de $450 W.m^{-2}$ a $460 W.m^{-2}$ adjacentes ao meio dia (figura 10). Também no período noturno, início da manhã e fim da tarde foram similares. Como nesta estação tem-se menos precipitação/nebulosidade, então no período noturno e horários circunvizinhos a R_a é

menor justamente em razão da menor nebulosidade. Esta variável foi praticamente constante nos dois sítios com relação a suas variações horárias, exceto no canal na segunda quinzena de dezembro devido a precipitação registrada entre os dias de 22 a 26.

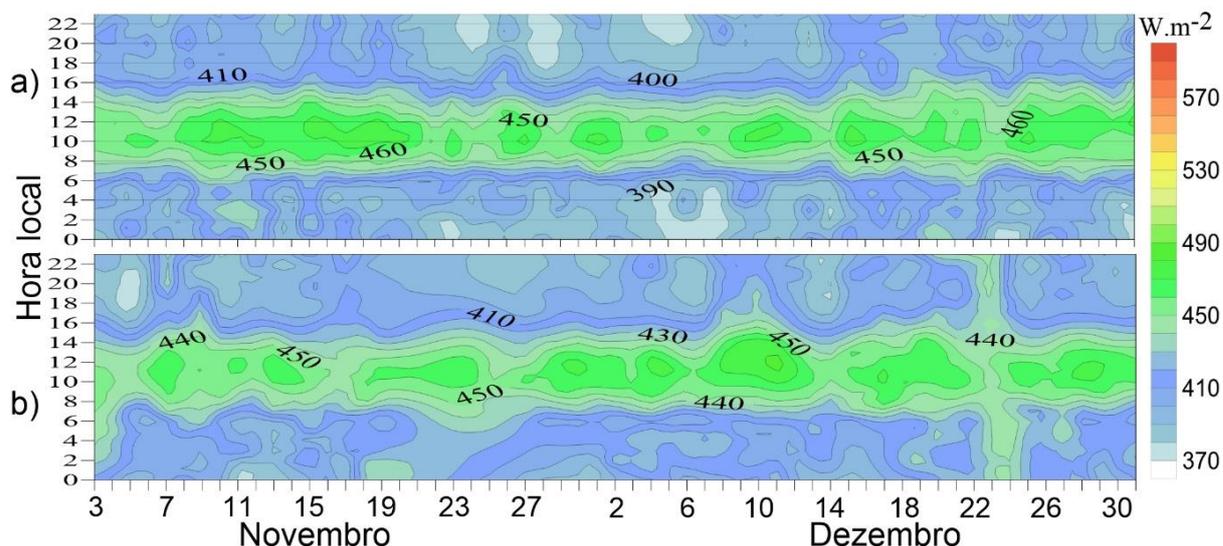


Figura 10 – Médias horárias-diárias de Radiação de Onda Longa Atmosférica (Ra) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação seca.

Como no canavial foi registrado mais precipitação do que na floresta de Mata Atlântica, então a Ra média foi maior no canavial (tabela 2). Pelo mesmo motivo o DP no canavial é menor, ou seja, teve uma menor variabilidade da Ra no canavial. Mesmo que a diferença de precipitação nos dois sítios foi pequena e levando-se em consideração que é o acumulado de dois meses, observa-se que o Q1, Md, Q3 e P95 são maiores no canavial. Mas os dois sítios apresentaram um baixo coeficiente de variação.

Tabela 2 – Média (\bar{x}), desvio padrão (DP), assimetria (As), curtose (K), coeficiente de variação (CV), primeiro quartil (Q1), mediana (Md), terceiro quartil (Q3) e 95º percentil (P95) da Radiação de Onda Longa Atmosférica (Ra), em $W.m^{-2}$, na estação seca.

Sítios	Medidas descritivas								
	\bar{x}	DP	As	K	CV	Q1	Md	Q3	P95
Mata Atlântica	418,86	28,53	0,2892	-1,109	0,0681	394,25	414,31	443,52	466,63
Canavial	424,07	25,84	0,2129	-0,992	0,0609	402,53	420,86	445,49	467,26

A distribuição da Ra nos dois locais (figura 11) tem a mesma forma de distribuição com simetria positiva, onde o lado mais longo do polígono situa-se à direita do centro. O alongamento maior na floresta de Mata Atlântica (coeficiente maior) foi devido a maior frequência de Ra próximo ao Q1. Pelo mesmo motivo o grau de achatamento (K) foi menor na floresta de Mata Atlântica, mas nos dois sítios a distribuição foram classificadas como leptocúrtica.

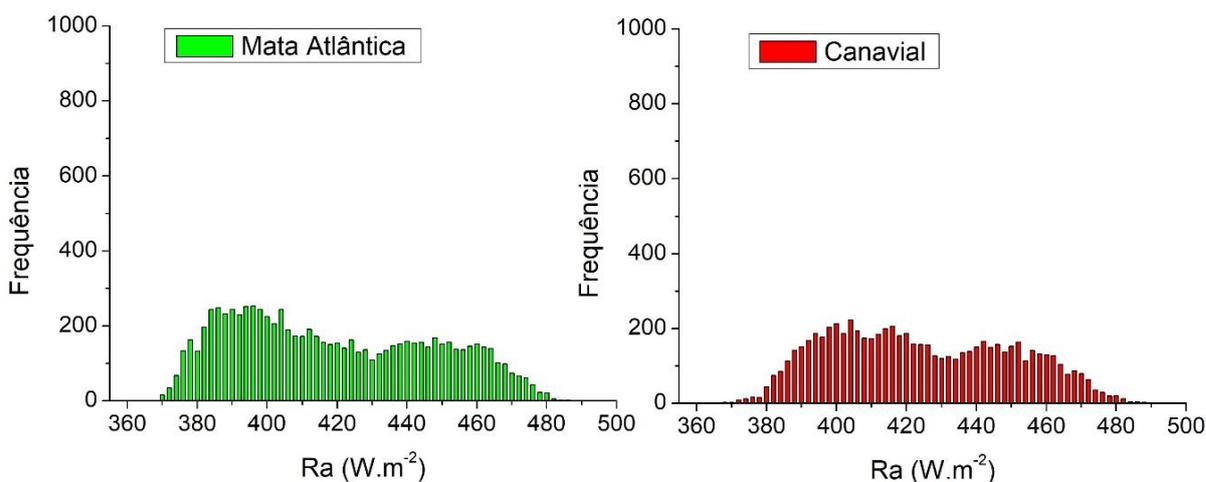


Figura 11 - Distribuição da frequência da Radiação de Onda Longa Atmosférica (Ra) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação seca.

O alongamento da distribuição à direita da Md foi em quase todos os dias (figura 12) nos dois sítios e a mediana próxima ao Q1. Isso significa uma maior frequência dos dados próximo ao Q1 e uma maior dispersão à direita da distribuição. Nos dias com maior nebulosidade observa-se uma distância simétrica entre o Q1, Md e Q3. Isso é visto, por exemplo, nos dois sítios entre os dias 16 e 24 de dezembro.

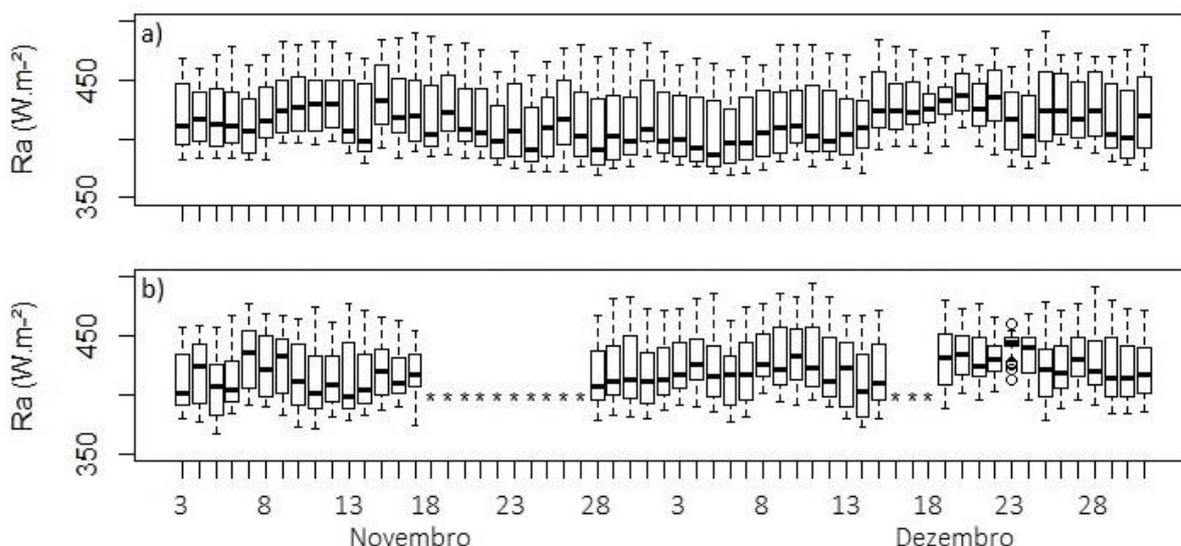


Figura 12 – Box Plot da Radiação de Onda Longa Atmosférica (Ra) (W.m^{-2}) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação seca. *Dias com dados incompletos.

Pires et al. (2018) encontraram, em um estudo na caatinga, média da Ra de $31,59 \pm 1,02 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ e $33 \pm 1,04 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ nos meses mais secos da série estudada. Esses resultados foram ligeiramente menores aos encontrados no estudo em tela ($36,19 \pm 0,77 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ na floresta de Mata Atlântica e $36,39 \pm 1,41 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ no canavial). Essa diferença nas médias entre os sítios foi em razão dos meses com nenhum registro de precipitação, ao contrário deste estudo ocorreram registros de precipitação na floresta de Mata Atlântica e canavial (figura 5). A precipitação/nebulosidade contribuiu para uma maior Ra média neste estudo, já que a presença de nuvens modifica substancialmente o fluxo de radiação atmosférica que é recebido na superfície, porque a radiação emitida pelo vapor de água e dióxido de carbono na atmosfera inferior é suplementada pela emissão das nuvens (MALEK, 1997).

A curva média da Ra (figura 13) tem um padrão bem definido nos dois sítios com máximo às 12h e mínimo no período noturno. No canavial, entre às 00 e 7 horas, ocorreu um aumento, mas o mesmo não aconteceu na floresta de Mata Atlântica. Possivelmente, isso é consequência da precipitação/nebulosidade. Outra hipótese é a maior UR, pois como relatado por Costa & Shine (2012) a opacidade associada ao vapor d'água reduz significativamente a OL que passaria na janela atmosférica em dia de céu claro. Então, deve-se levar em consideração a temperatura e UR do ar, por certo que a importância mútua da temperatura e do vapor d'água próximo à superfície em dia de céu claro no fluxo radiativo de OL na superfície da Terra é entendida há quase um século (STEPHENS et al., 2012).

A temperatura média do ar (Tar) em Coruripe (floresta de Mata Atlântica) foi 27,71° C e umidade relativa do ar (UR) 70,02% e no CECA (canavial) foi de 24,38° C e 74,47%. Considerando a distância da estação do INMET para floresta de Mata Atlântica, observa-se que, apesar de maior temperatura e menor umidade relativa do ar que no canavial, as curvas médias da Ra foram semelhantes.

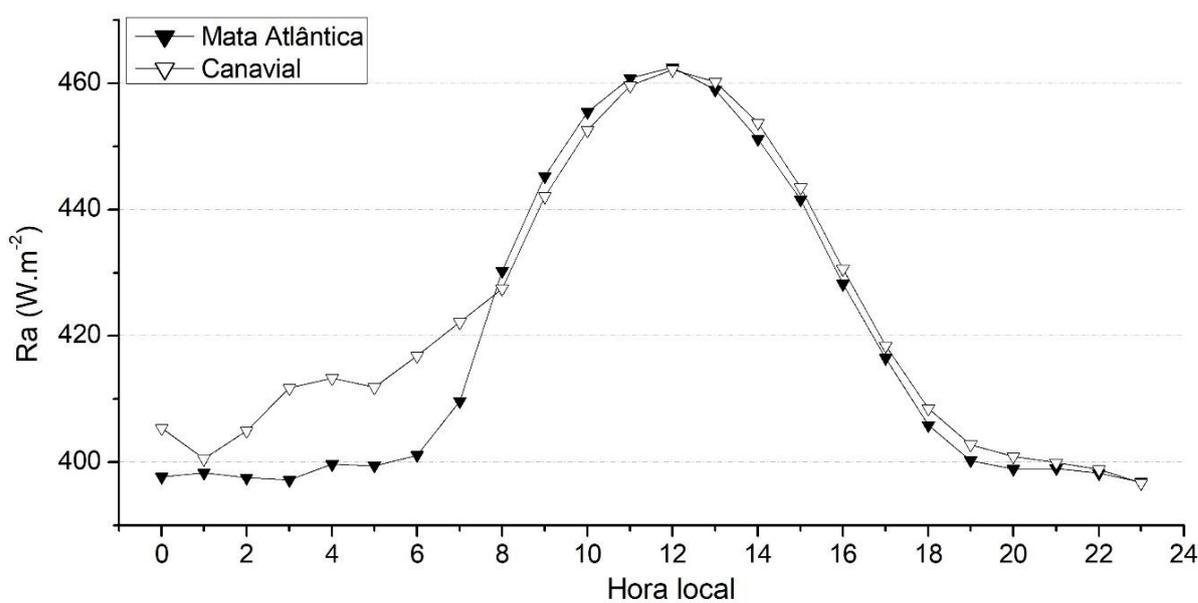


Figura 13 - Variação média horária da irradiância atmosférica (Ra) ($W.m^{-2}$) na Mata Atlântica e Canavial na estação seca.

Deve-se também levar em consideração que pode ocorrer uma interferência de aerossóis, que é capaz de aquecer ou resfriar a superfície e/ou a atmosfera com a alteração no fluxo de energia solar, afetando o perfil de temperatura da atmosfera (ARTAXO et al., 2006). Isso, possivelmente, ocorreu em razão dos meses da estação seca coincidirem com a época da queima no canavial para colheita da cana-de-açúcar em Alagoas. Já no canavial (Rio Largo) soma-se o fato da localização próxima a uma extensa área urbana que emite diversos poluentes para atmosfera.

4.1.4 Onda Longa Superficial (Rs)

É discrepante a Rs (figura 14) ao longo do dia na floresta de Mata Atlântica e canavial, o qual no canavial teve isolinhas superior a $570 W.m^{-2}$ próximas ao meio dia, enquanto na floresta de Mata Atlântica com isolinhas de $510 W.m^{-2}$. Já perto do fim da tarde, às 16h, na floresta de Mata Atlântica tem uma isolinha de $480 W.m^{-2}$ e no canavial $470 W.m^{-2}$, o que mostra como no canavial a Rs tende a diminuir mais rápido no período noturno. Ademais, nos dois sítios a variação horária é semelhante com mínimos antes do nascer do sol e máximos adjacentes ao meio dia.

As medições da Rs no canavial foram 57 dias após o corte e a planta estava com aproximadamente 50 cm de altura. Nestas condições ocorreu uma maior exposição do solo a Rg o que contribuiu para um maior aquecimento do solo, pois com o solo exposto tem-se um menor albedo, ou seja, maior retenção da Rg e maior Rs (CARVALHO et al., 2018).

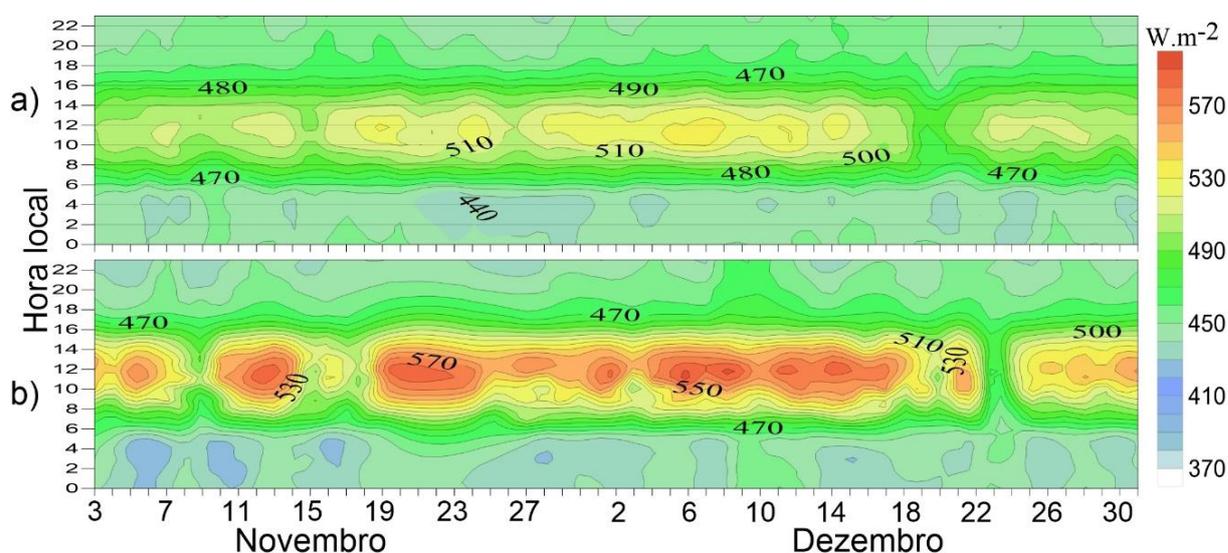


Figura 14 – Médias horárias-diárias de Radiação de Onda Longa Superficial (Rs) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação seca.

No geral, a média foi maior no canavial (tabela 3) e o DP também superior no canavial. Neste caso, a média é uma boa medida para representar os dados devido a sua homogeneidade como visualizado no CV nos dois sítios. A média mostra como no canavial teve uma maior emissão da Rs. No entanto, mais diurnamente, pois é menor com relação a floresta de Mata Atlântica no período noturno. Isso é evidente ao observar a figura 14.

O Q1, neste caso, representa a Rs no período noturno que tiveram médias ($447,67 W.m^{-2}$ na floresta de Mata Atlântica e $444,47 W.m^{-2}$ no canavial) próximas aos seus respectivos quartis. Acima do primeiro quartil é a Rs no período diurno que, em média, foi $490,07 W.m^{-2}$ (floresta de Mata Atlântica) e $510 W.m^{-2}$ (canavial). Observa-se essa distribuição (figura 15) com assimetria positiva, mas no canavial um coeficiente maior (maior alongamento do polígono à direita) em razão do maior P95.

Tabela 3 – Média (\bar{x}), desvio padrão (DP), assimetria (As), curtose (K), coeficiente de variação (CV), primeiro quartil (Q1), mediana (Md), terceiro quartil (Q3) e 95º percentil (P95) da Radiação de Onda Longa Superficial (Rs), em $W.m^{-2}$, na estação seca.

Sítios	Medidas descritivas								
	\bar{x}	DP	As	K	CV	Q1	Md	Q3	P95
Mata Atlântica	470,65	26,98	0,6015	-0,925	0,0573	448,28	460,79	493,73	519,32
Canavial	482,05	43,97	0,7431	-0,642	0,0912	445,91	464,78	515,19	566,87

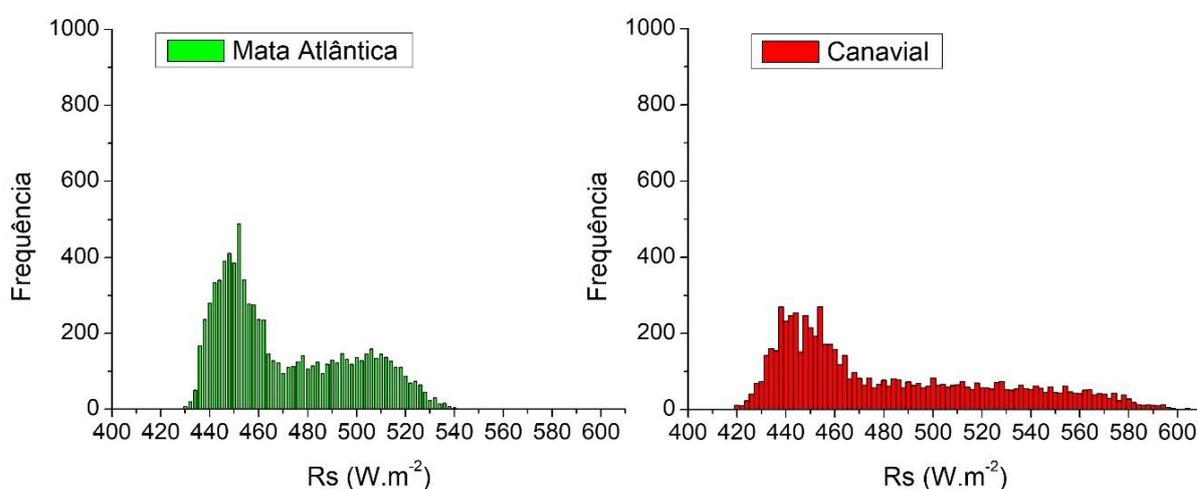


Figura 15 - Distribuição da frequência da Radiação de Onda Longa Superficial (Rs) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação seca.

Como o P95 do canavial foi maior, tem-se uma maior amplitude na distribuição que varia de aproximadamente $420 W.m^{-2}$ a $600 W.m^{-2}$, enquanto na floresta de Mata Atlântica vai de $430 W.m^{-2}$ a $540 W.m^{-2}$. É observado na maioria dos dias (figura 16) essas distribuições. Nos dois sítios o mínimo, Q1 e a Md são próximos, principalmente na floresta de Mata Atlântica. No entanto, a distância entre a Md, Q3 e máximo é maior no canavial e por isso teve uma maior calda da distribuição alongada a direita.

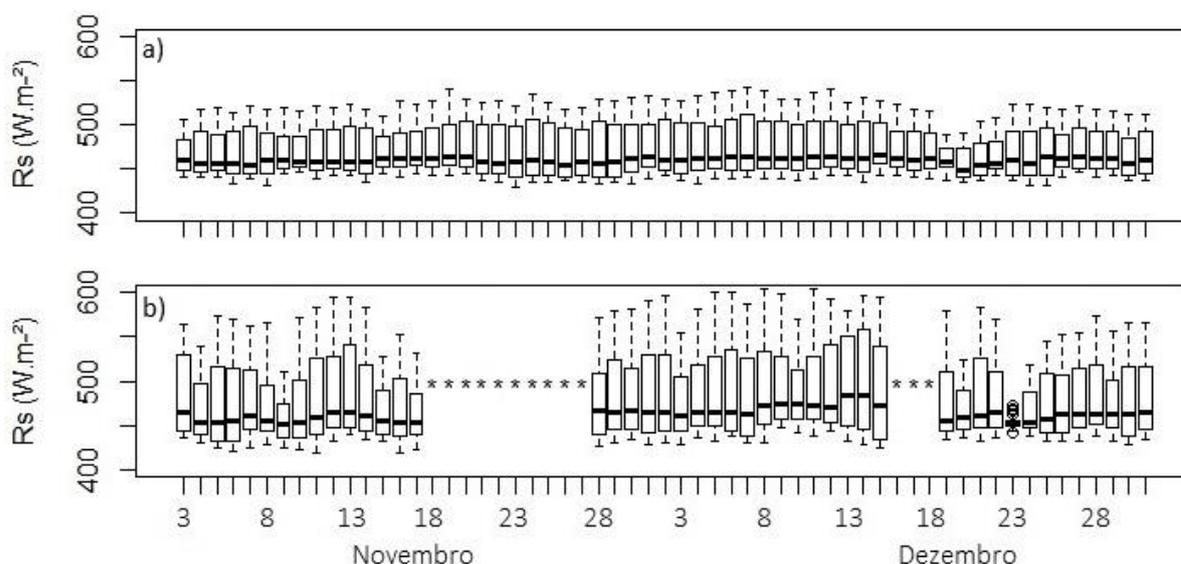


Figura 16 – Box Plot da Radiação de Onda Longa Superficial (R_s) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação seca. *Dias com dados incompletos.

O comportamento médio horário é similar nos dois locais (figura 17) com máximos ao meio dia e mínimo antes do nascer do Sol. Observa-se uma diferença do pico máximo entre os dois sítios de $38,3 W.m^{-2}$. Isso pelo fato da maior incidência da R_g à superfície exposta na cultura da cana-de-açúcar. Além disso, o principal motivo pela diferença da R_s entre os dois sítios é porque a floresta funciona como um anteparo que atenua a radiação que incidiria a superfície como também na troca de energia com a atmosfera (PEZZOPANE et al., 2002). A retirada de uma floresta pode acarreta em uma diminuição de 8,55% da UR e aumento de 6,6% na Tar máxima (BIUDES et al., 2012). Com isso, a substituição de floresta por outra cultura agrícola significa um aumento do calor sensível e diminuição do calor latente (GOMES et al., 2015), ou seja, uma maior parte da energia disponível no sistema é destinada ao aquecimento da superfície e, conseqüentemente, do ar adjacente. Em suma, isso significa uma maior emissão de OL.

Por isso no período noturno a R_s é maior na floresta de Mata Atlântica devido a maior energia armazenada na biomassa do dossel. Já no canavial a R_s é maior no período diurno devido as trocas intensas de energia com a atmosfera, o que acarreta em rápida diminuição da R_s no fim da tarde e noite se comparado a floresta de Mata Atlântica.

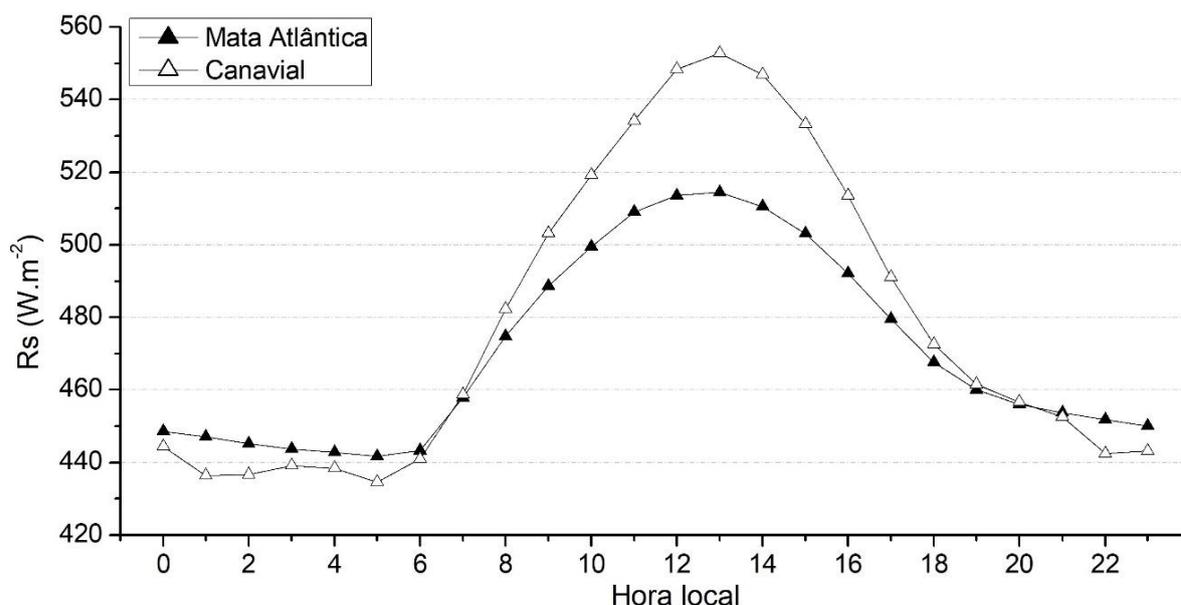


Figura 17 - Variação média horária da irradiância superficial (R_s) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação seca.

4.1.5 Balanço de Ondas Longas (BOL)

Em poucos dias o BOL foi próximo a $0 W.m^{-2}$ (figura 18) como visto na segunda quinzena de dezembro nos dois locais devido a precipitação registrada. Observa-se também que na floresta de Mata Atlântica tem mais isolinhas de $-72 W.m^{-2}$, enquanto no canavial de $-107 W.m^{-2}$. Nos dois sítios os menores BOL's foram próximos às 12h e máximos antes do nascer do Sol. Apesar do mesmo padrão de variação horária, nota-se que de 0h às 7h ocorreram maiores BOL's no canavial (observar tons verdes), enquanto na floresta de Mata Atlântica manteve-se praticamente constante no decorrer da noite (observar tons amarelos) em função da maior R_s no período noturno na floresta de Mata Atlântica.

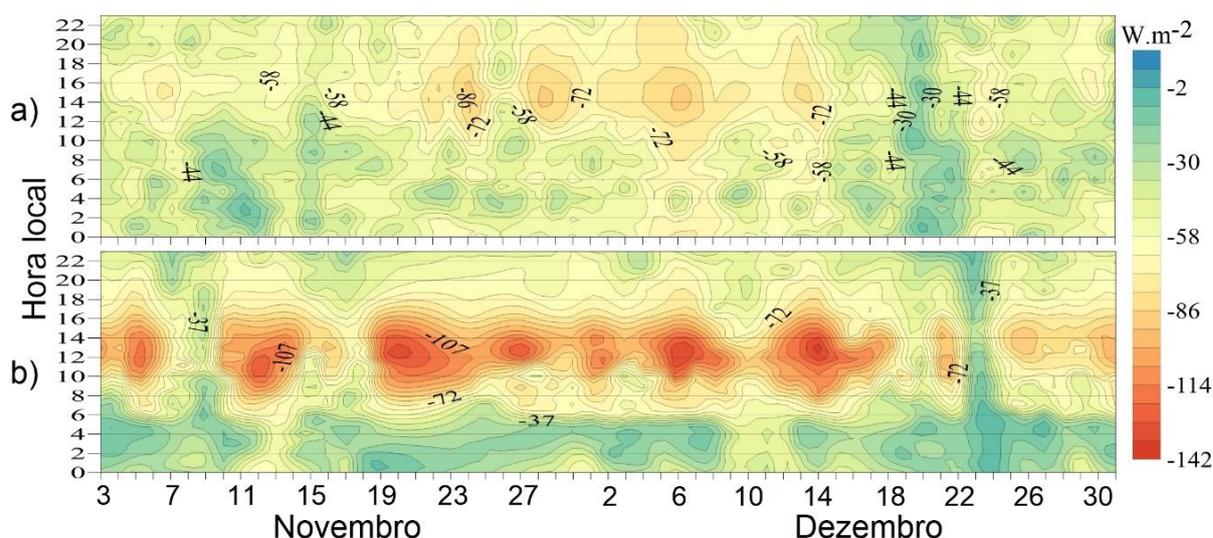


Figura 18 – Médias horárias-diárias de Balanço de Onda Longa (BOL) (W.m^{-2}) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação seca.

Como a R_a foi praticamente igual nos dois sítios, a R_s teve maior influência sobre o BOL. Em média, o BOL foi menor no canavial (tabela 4), mas essa diferença é maior se comparar as médias nos períodos diurno ($-54,04 \text{ W.m}^{-2}$ na floresta de Mata Atlântica e $-73,10 \text{ W.m}^{-2}$ no canavial) e noturno ($-49,11 \text{ W.m}^{-2}$ na floresta de Mata Atlântica e $-37,82 \text{ W.m}^{-2}$ no canavial). Por causa dessa amplitude horária o DP foi maior no canavial. O CV foi negativo em virtude de ser a razão do desvio padrão pela média do BOL, o qual é negativa. O canavial apresentou um maior CV, o que significa que a média não é uma boa medida representativa.

A distribuição do conjunto de dados (figura 19) é diferente do que já foi discutido até agora neste estudo: As é negativa no canavial (polígono de frequência alongado à esquerda da distribuição) e positivo (o lado mais longo à direita) na floresta de Mata Atlântica. Isso foi devido ao menor BOL (mais onda longa no sistema) no canavial que teve um espectro de frequência de aproximadamente -140 W.m^{-2} a 0 W.m^{-2} , enquanto na floresta de Mata Atlântica foi de -90 W.m^{-2} a 0 W.m^{-2} . No entanto, os dois sítios tiveram um grau de achatamento (K) negativo classificado como leptocúrtica.

Tabela 4 – Média (\bar{x}), desvio padrão (DP), assimetria (As), curtose (K), coeficiente de variação (CV), primeiro quartil (Q1), mediana (Md), terceiro quartil (Q3) e 95º percentil (P95) do Balanço de Onda Longa (BOL), em $W.m^{-2}$, na estação seca.

Sítios	Medidas descritivas								
	\bar{x}	DP	As	K	CV	Q1	Md	Q3	P95
Mata Atlântica	-51,79	17,286	0,5269	-0,065	-0,334	-63,36	-54,49	-41,27	-18,27
Canavial	-57,88	29,393	-0,271	-0,436	-0,508	-76,48	-57,77	-35,54	-13,11

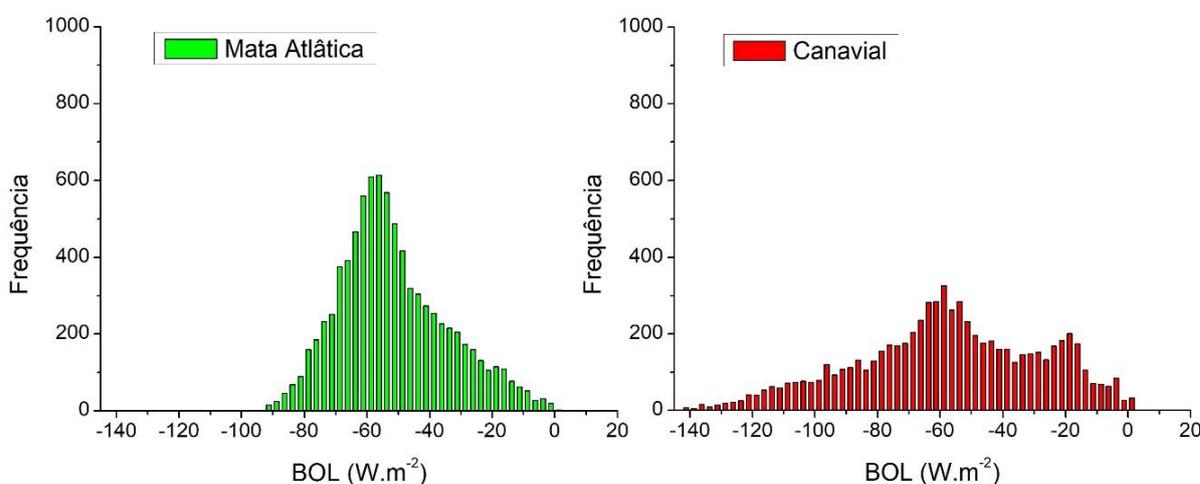


Figura 19 - Distribuição da frequência do Balanço de Onda Longa (BOL) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação seca.

A maior amplitude do BOL no canavial foi em quase todos os dias e foi muito diferente do apresentado pela floresta de Mata Atlântica (figura 20). Na floresta de Mata Atlântica a distância entre o mínimo, Q1, Md, Q3 e máximo é menor do que no canavial. Na floresta de Mata Atlântica teve muitos outlier se comprado ao canavial devido, possivelmente, ao maior (menor se desconsiderar o sinal negativo) CV. Isso significa que como o BOL tem uma menor variabilidade, mais registros atípicos foram considerados “outlier”. Interessante que os outlier na floresta de Mata Atlântica foram sempre próximo a $0 W.m^{-2}$, possivelmente devido a nebulosidade, mas no canavial foram próximos aos mínimos, possivelmente, em virtude de valores extremos da R_s .

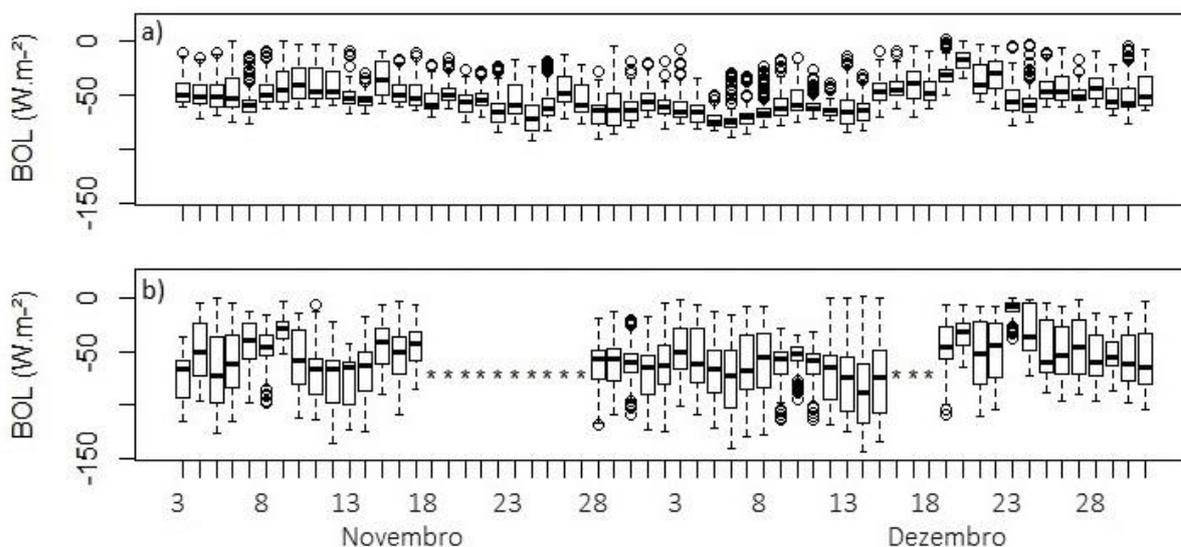


Figura 20 – Box Plot do Balanço de Onda Longa (BOL) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação seca. *Dias com dados incompletos.

O comportamento médio do BOL (figura 21) tiveram seus máximos antes do nascer do Sol e mínimos às 14h (canavial) e 16h (floresta de Mata Atlântica). Aparentemente, os máximos seguiriam o comportamento da R_a e R_s que nos sítios foram praticamente nos mesmos horários. No entanto, o BOL é um resultado da diferença entre a R_a e R_s e tem uma amplitude menor que das outras variáveis, então qualquer variação mínima é perceptiva. Na floresta de Mata Atlântica, em virtude da menor variação da R_s média horária, tem-se uma curva mais suave. Já no canavial, em razão da maior variação da R_s e variabilidade da R_a média no período noturno, o BOL tem uma maior amplitude. No geral, observa-se que em um dia ocorre um aumento e diminuição do BOL mais rápido no canavial se comparado com a floresta de Mata Atlântica. Corroboram resultados entrados por Souza et al. (2013) que, comparando o BOL em uma floresta e plantio de soja, relata que o impacto negativo no saldo de ondas longas foi sempre superior 71,9%.

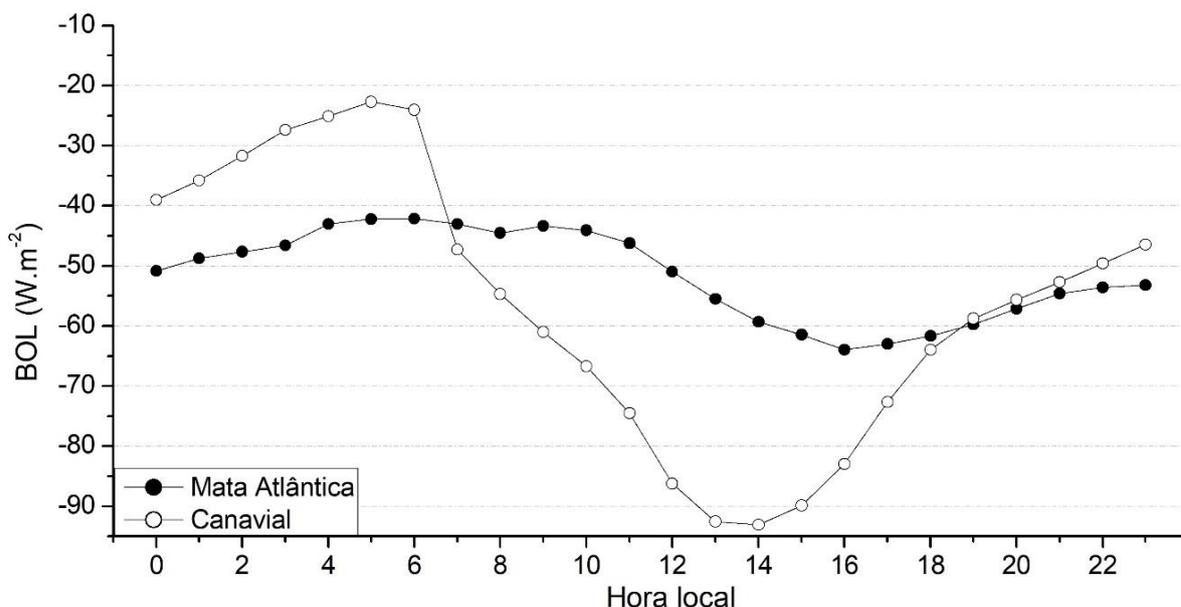


Figura 21 - Variação média horária do Balanço de Onda Longa (BOL) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação seca.

4.2 Estação chuvosa

4.2.1 Precipitação

Na floresta de Mata Atlântica foram registrados 873,1 mm de precipitação acumulados nos meses de maio e junho (figura 22), o que corresponde a cerca de 48% acima da normal climatológica para este mesmo período (452,41 mm). A distribuição da precipitação foi mais concentrada na segunda quinzena de maio e junho. Essa precipitação acima do esperado para estes meses foi devido a intensificação do escoamento anticiclônico sobre o Atlântico Sul e a formação de Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) em áreas oceânicas adjacentes à costa leste do Nordeste (CPTEC, 2017). Assim, os dias foram distribuídos, de acordo com o Kt, com 39,35% NB, 49,18% PN e apenas 11,47% CL. A média do Kt diário foi de $0,446 \pm 0,12$.

Ao contrário do que aconteceu no outro sitio experimental, no Canavial foram registrados 316,99 mm (figura 22), 50,5% abaixo do esperado para o mesmo período (639,89 mm). A precipitação abaixo da normal climatológica foi devida, em particular no decorrer da segunda quinzena de maio, a intensificação do sistema de alta pressão semipermanente do Atlântico Sul, que adentrou na costa leste do Brasil e inibiu a passagem de sistemas frontais (CPTEC, 2018). Mesmo com a precipitação abaixo do esperado, os dias foram distribuídos em 18,03% de NB, 72,13% de PN e 9,84% de CL, com média diária de $0,50 \pm 0,09$ do. Vale frisar que apesar da precipitação

registrada na floresta de Mata Atlântica ter sido maior que no Canavial, a média do Kt diário, bem como os dias de céu claro, foram razoavelmente semelhantes. Isso porque o Kt é sensível a nebulosidade e não a precipitação, uma vez que a presença de nebulosidade nem sempre resulta em registros de precipitação à superfície.

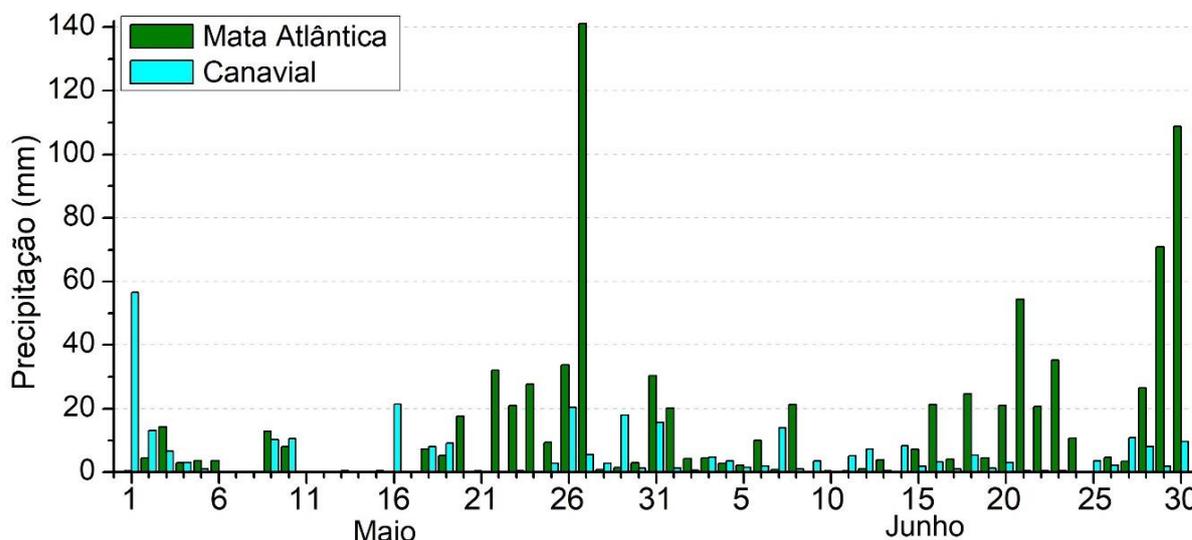


Figura 22 – Acumulado diário de Precipitação (mm) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação chuvosa.

4.2.2 Radiação Solar Global (Rg)

É possível observar que na floresta de Mata Atlântica (figura 23a) na segunda quinzena de maio e junho, onde foram registrados os maiores acumulados de precipitação, a Rg foi menor. O mesmo aconteceu no Canavial no início e fim de maio. Além da cobertura de nebulosidade nesta época, a declinação solar é um fator influente na radiação solar que chega a superfície. Nos meses de maio e junho o Sol encontra-se aproximadamente entre 14° e 23° norte. A variabilidade horária da Rg na floresta de Mata Atlântica e no Canavial (figura 23b) são semelhantes com máximo próximo ao meio dia e mínimos no início da manhã e fim da tarde.

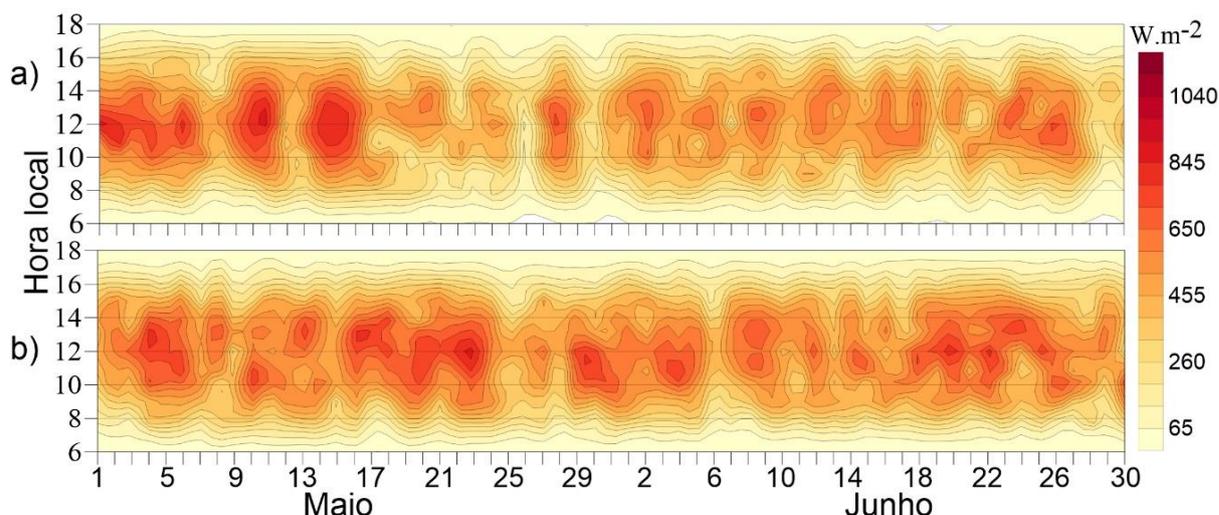


Figura 23 – Médias horárias-diárias de Radiação Solar Global (R_g) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação chuvosa.

Nesta estação a R_g média foi menor na floresta de Mata Atlântica por causa do maior registro de precipitação (tabela 5). Resultado semelhante foi entrado por Souza Filho (2002) em uma floresta tropical que entre o período menos chuvoso e chuvoso ocorreu uma redução de 30% da R_g . Como no Canavial teve menos dias nublados, consequentemente ocorreram mais frequentemente valores horário máximos maiores e, por isso, teve um maior DP. No entanto, devido o CV ser alto, é importante observar as medidas de dispersão e de tendência central além da média aritmética. Como é o caso também dos quartis, em que a diferença dos Q1 da floresta de Mata Atlântica e canavial foi de $29,3 W.m^{-2}$, mas a diferença das Md e do P95 foram maiores do que $50 W.m^{-2}$. Isso significa que, como relatado anteriormente, no Canavial ocorreram mais dias com valores máximos maiores como também pelo fato da ocorrência de menos dias nublados.

É observado na tabela 5 a assimetria (As) positiva (lado mais longo do polígono de frequência está à direita do centro da distribuição) da R_g nos dois sítios como pode ser visualizado na figura 24. A As foi maior, com relação a estação anterior, nos dois sítios, pois foram mais concentradas a esquerda da distribuição em razão de dois fatores. O primeiro é que nesta estação o fotoperíodo é menor. Segundo, em virtude da nebulosidade teve menos energia incidente à superfície. Isso ocorreu principalmente na floresta que apresentou maior registro de precipitação. Assim, nota-se na Floresta de Mata Atlântica uma frequência decrescente entre $100 W.m^{-2}$ e $550 W.m^{-2}$, enquanto no mesmo intervalo uma frequência constante no canavial. Por isso, a As na floresta de Mata Atlântica é maior que no canavial justamente em razão da

maior frequência à esquerda da distribuição. Já a medida de curtose (K) ou achatamento é negativa nos dois sítios e caracterizada como leptocúrtica ($K < 0,263$), pois a distribuição é bastante fechada.

Tabela 5 – Média (\bar{x}), desvio padrão (DP), assimetria (As), curtose (K), coeficiente de variação (CV), primeiro quartil (Q1), mediana (Md), terceiro quartil (Q3) e 95º percentil (P95) da Radiação Solar Global (Rg), em $W.m^{-2}$, na estação chuvosa.

Sítios	Medidas descritivas								
	\bar{x}	DP	As	K	CV	Q1	Md	Q3	P95
Mata Atlântica	322,53	242,50	0,505	-0,758	0,752	111,6	288,7	496	769
Canavial	370,87	258,68	0,299	-0,976	0,697	140,9	350,6	571,8	821

Essa característica a direita (próximo a $0 W.m^{-2}$) da distribuição de frequência da Rg (figura 24) é pelo fato da variação horária da Rg existir um máximo (quando o Sol está no meridiano local) e dois mínimos (nascer e pôr do Sol) e adicionado a isso tem a maior nebulosidade na estação chuvosa.

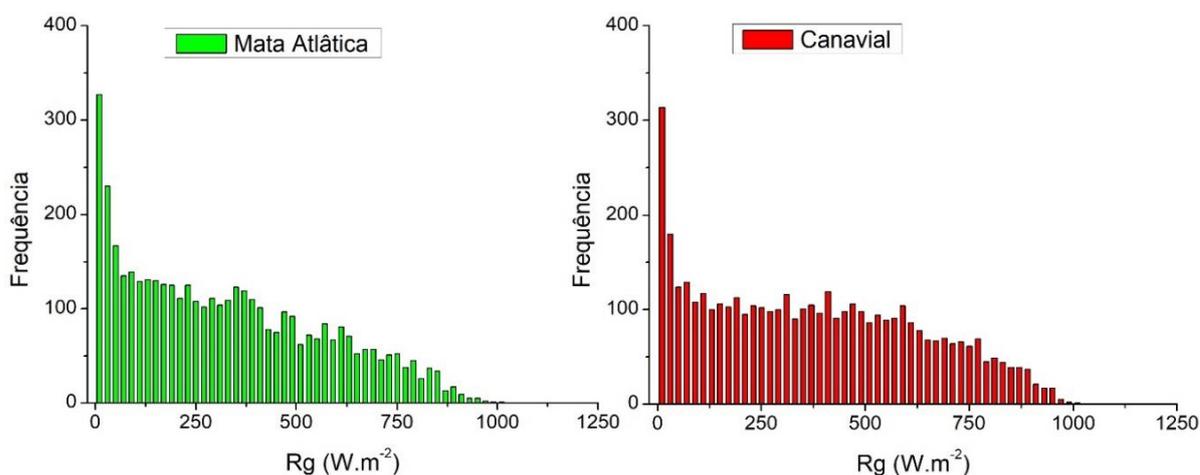


Figura 24 - Distribuição da frequência da Radiação Solar Global (Rg) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação chuvosa.

As distâncias das medidas de tendência da Rg foram menores (figura 25) que na estação anterior. Observa-se que a distância da Md para o Q1 e Q2 tem grande variabilidade e por isso o CV desta estação foi maior que a seca. Isso em razão da variabilidade horária com relação ao fator astronômico da rotação da Terra e somado a isso a variação de nebulosidade que pode ocorrer em um dia. A maior frequência

próximo a 0 W.m^{-2} (figura 24), com relação a estação seca, influenciou a distância do mínimo ao Q1 em quase todos os dias.

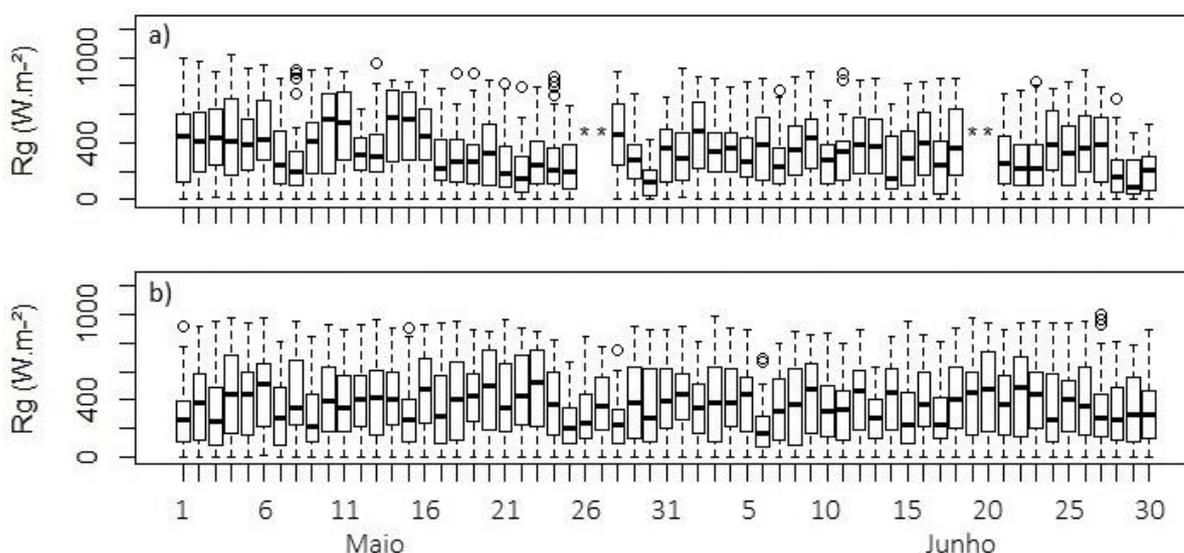


Figura 25 – Box Plot da Radiação Solar Global (R_g) (W.m^{-2}) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação chuvosa. *Dias com dados incompletos.

Os resultados encontrados no estudo em caso foram semelhantes a R_g média relatado por Souza Filho et al. (2006) em estudo em uma floresta tropical. Os autores encontraram no período chuvoso média de $14,8 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, próximo aos deste estudo — $14,02 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ na floresta de Mata Atlântica e $15,80 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ no canavial. Apesar da distância entre os locais, a R_g foi similar, possivelmente, por efeito da nebulosidade.

4.2.3 Onda Longa Atmosférica (R_a)

A R_a se manteve praticamente constante em alguns dias na segunda quinzena de maio, início e final de junho na floresta de Mata Atlântica (figura 26a), acarretada pelos maiores registros de precipitação neste período. Além disso no canavial (figura 26b) e floresta de Mata Atlântica a R_a teve variações semelhantes com picos próximos ao meio dia e mínimos no período noturno, mas com alguns núcleos elevados da R_a (observar cores verdes na escala da figura) em razão da cobertura de nuvens. Isso ocorre porque a radiação de OL emitida pela superfície que passaria pela atmosfera para o espaço (janela atmosférica) é absorvida e reemitida pelas nuvens. Em outras palavras, as nuvens “aprisionam” essa radiação causando um efeito estufa. Também constata-se, com relação ao período diurno, que mesmo com uma menor energia incidente a superfície (R_g), em relação a estação anterior, a R_a não apresenta uma diferença significativa em seus máximos.

Também se observa que no canavial (figura 26b) tem-se mais núcleos com menores Ra (ver cores tons azuis e cinza), possivelmente por ter ocorrido menos nebulosidade, uma vez que teve menos registros de precipitação no canavial e o Kt diário médio menor que na floresta de Mata Atlântica.

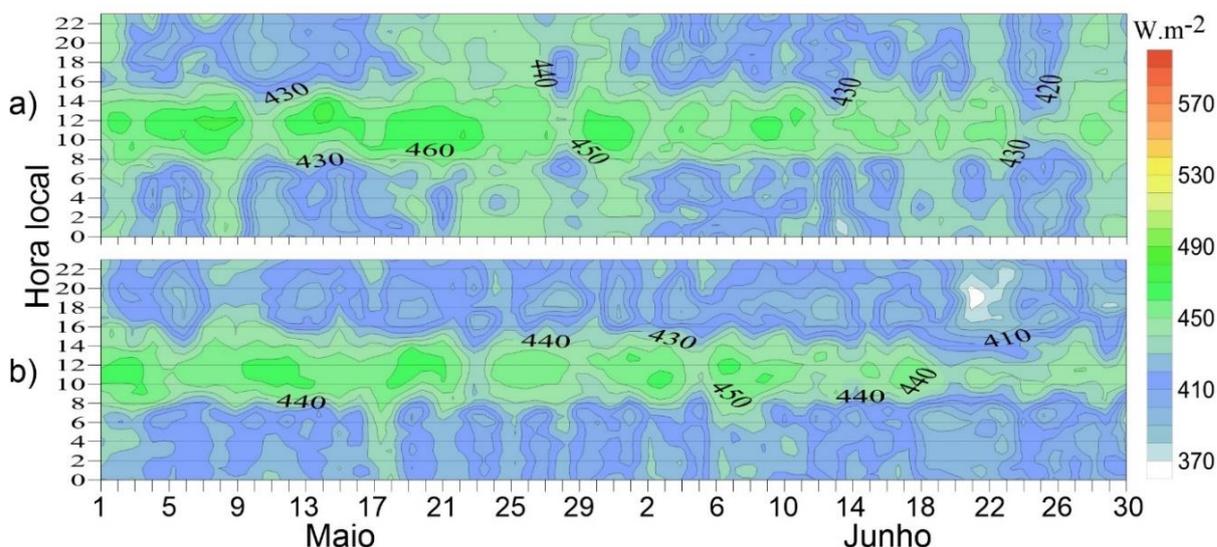


Figura 26 – Médias horárias-diárias de Radiação de Onda Longa Atmosférica (Ra) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação chuvosa.

Por definição a radiação de OL é resultante da temperatura, mas pode-se dizer que a temperatura também é resultante da OL como é o caso do efeito estufa causado pelas nuvens. Além disso, o aumento do vapor d'água resulta em um fortalecimento adicional do efeito estufa pelo aumento da emissão de radiação de OL da atmosfera para a superfície (STEPHENS et al., 2012).

A Tar em Coruripe (floresta de Mata Atlântica) foi de $24,86^{\circ} C$ e UR 80,54%, enquanto em Rio Largo (canavial) foi de $23,55^{\circ} C$ e 82,35%. Nesta estação tem-se um aumento do vapor d'água que junto com o CO_2 são considerados como termorreguladores atmosféricos em razão da capacidade de absorver radiação de OL (SOUZA FILHO et al., 2006).

Teoricamente a Ra deveria ser maior nesta estação levando em consideração a interação com o vapor d'água, mas ao observar as médias (tabela 2 e 6) nota-se pouca variação sazonal. Isso porque nesta estação ocorreu uma menor Rg e, possivelmente, por isso menor temperatura do ar. Em contrapartida a maior Rg na estação seca não significa necessariamente uma maior Ra porque parte da Rs passa direto pela janela atmosférica, e não é usada para aquecer a atmosfera. A principal diferença da Ra nesta estação está nos menores DP's.

Apesar das variabilidades entre os sítios, observa-se que a diferença da média é mínima entre os dois locais (tabela 6), mas maior na Mata Atlântica. As diferenças entre os quartis e dos 95º percentis não passam de 14 W.m⁻², o que mostra como a Ra comportou-se, em termos de variação horária (máximos e mínimos), semelhante nos dois locais. O DP e o CV dos dois locais corroboram com essa afirmação, pois são praticamente iguais e demonstram a homogeneidade do conjunto de dados.

A As é negativa nos dois sítios, mas a distribuição no Canavial é praticamente simétrica (média igual a mediana). No entanto, na floresta de Mata Atlântica observa-se um alongamento acentuado a esquerda (figura 27). Essa distribuição mostra que na floresta de Mata Atlântica a Ra teve maior frequência no lado direito, ou seja, frequências da Ra maiores que a média e, por isso, a calda da distribuição alongada a esquerda. Já no canavial a distribuição foi, razoavelmente, em torno da média. Essa diferença na distribuição foi em consequência da maior nebulosidade na Mata Atlântica. O que reforça essa afirmação da distribuição em torno da média é o seu grau de achatamento, o qual é classificado como leptocúrtica nos dois locais, mas com menor grau no canavial (frequência mais concentrada em torno do centro).

Tabela 6 – Média (\bar{x}), desvio padrão (DP), assimetria (As), curtose (K), coeficiente de variação (CV), primeiro quartil (Q1), mediana (Md), terceiro quartil (Q3) e 95º percentil (P95) da Radiação de Onda Longa Atmosférica (Ra), em W.m⁻², na estação chuvosa.

Sítios	Medidas descritivas								
	\bar{x}	DP	As	K	CV	Q1	Md	Q3	P95
Mata Atlântica	431,04	21,86	-0,468	-0,499	0,051	416,16	435,62	446,04	462,19
Canavial	422,87	21,98	-0,014	-0,596	0,052	406,8	422,4	439,25	458,6

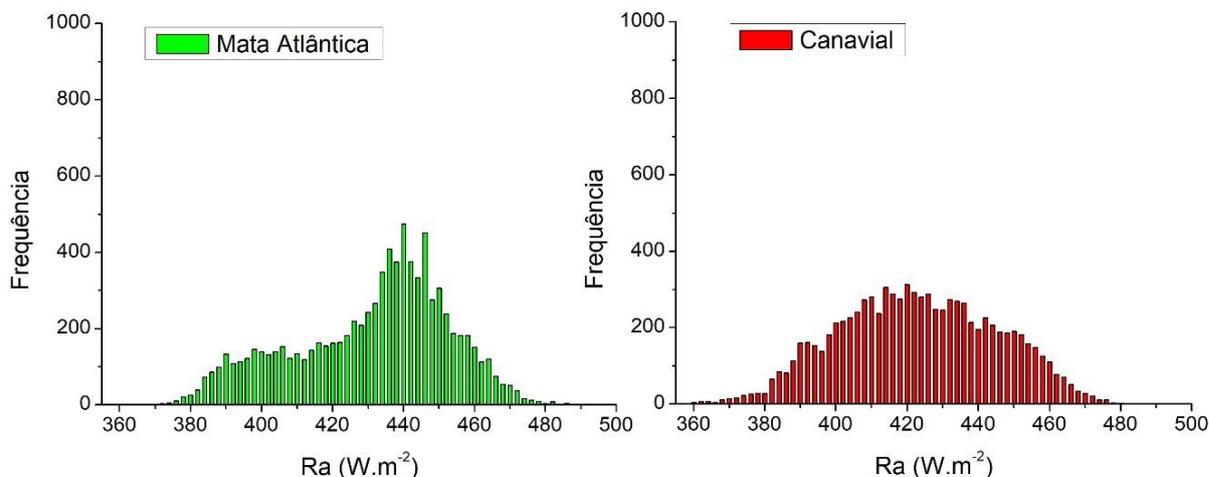


Figura 27 - Distribuição da frequência da Radiação de Onda Longa Atmosférica (Ra) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação chuvosa.

A menor distância, com relação a estação anterior, entre o Q1, Md e Q3 nos dois locais mostram a menor amplitude no ciclo diário em razão da nebulosidade (figura 28). A afirmação de que a principal diferença da Ra no período chuvoso é sua variabilidade horária é vista nos mínimos nos dois sítios nesta estação, pois os máximos continuam praticamente iguais nas duas estações. Já os mínimos são maiores nesta estação.

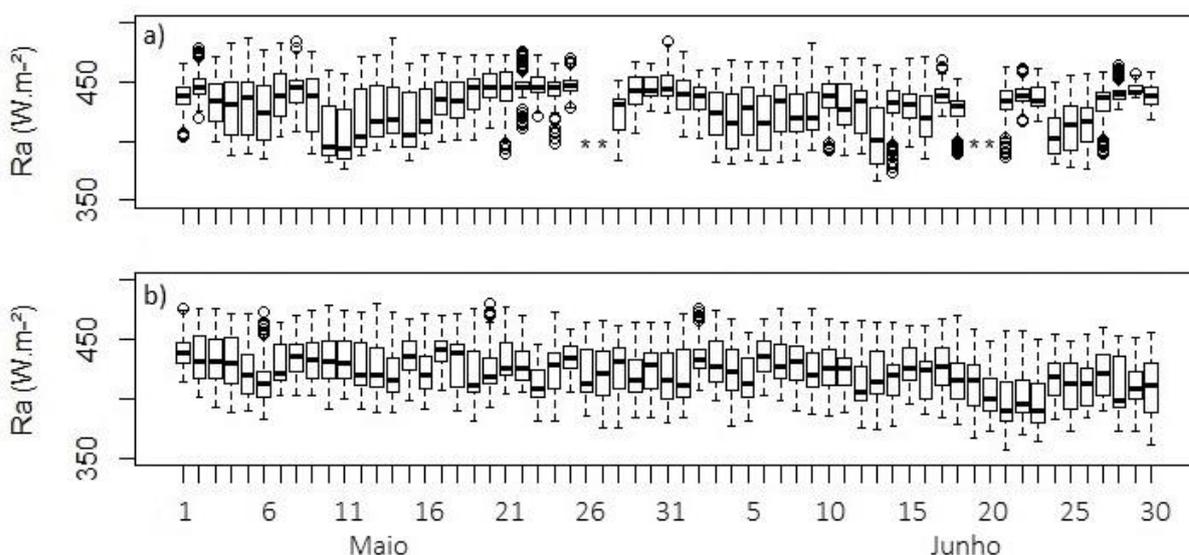


Figura 28 – Box Plot da Radiação de Onda Longa Atmosférica (Ra) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação chuvosa. *Dias com dados incompletos.

O comportamento médio horário da Ra nos dois locais (figura 29) foram semelhantes, mas sempre maior na floresta de Mata Atlântica. Observa-se que das 19 até 23 horas há um aumento da Ra no canavial e floresta de Mata Atlântica. Esses padrões foram, possivelmente, por causa das características da precipitação

registrada neste período de estudo. Do total de precipitação nos dois meses em cada sítio, foram registrados 25,4% na floresta de Mata Atlântica e 23,3% no canalial apenas neste período (17h às 23h). Somado a esse fato, tem-se a interação da OL com a UR que aumenta no período noturno e atinge seu máximo antes do nascer do Sol. Já com relação aos mínimos às 19 horas, provavelmente, em razão da menor nebulosidade no fim da tarde/início da noite.

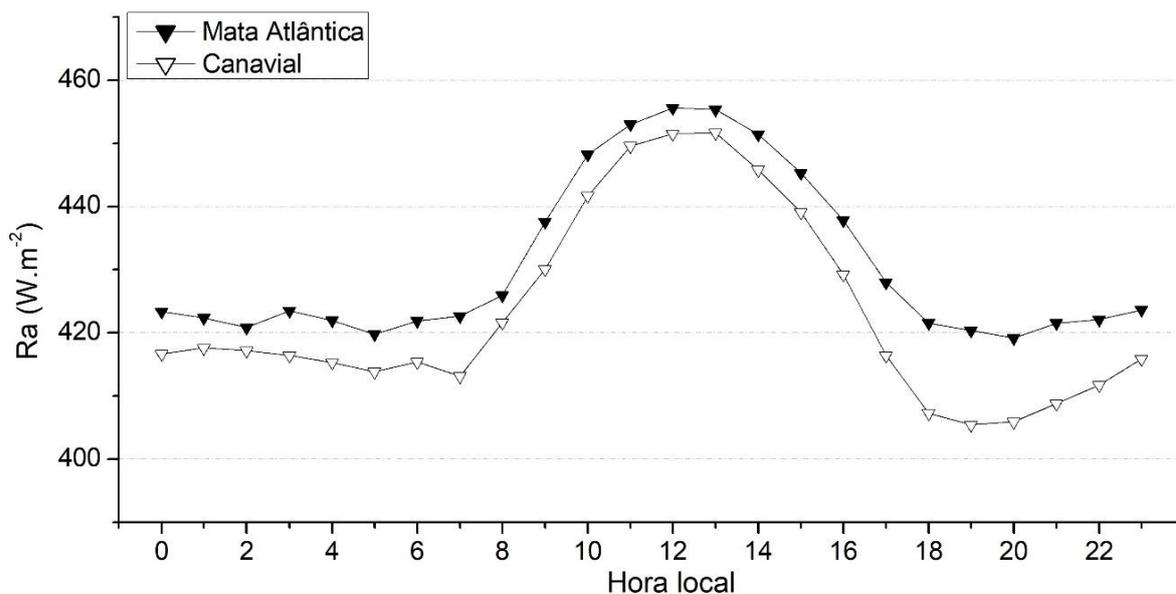


Figura 29 - Variação média horária da irradiância atmosférica (R_a) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação chuvosa.

Moura (2001), em estudo na floresta amazônica na estação chuvosa com mesmo modelo de instrumento utilizado neste estudo, encontrou R_a média de $431,8 \pm 11,1 W.m^{-2}$. Esse resultado é próximo ao encontrado aqui na floresta de Mata Atlântica, mas com menor DP em razão, possivelmente, da maior nebulosidade/precipitação na região amazônica. No entanto, os máximos do estudo supracitado ocorreram em torno das treze horas e os mínimos ocorreram em torno das vinte horas, similar ao encontrado neste estudo. O autor relaciona o aumento do valor médio da R_a a partir das 20 horas à formação de neblina, que é muito comum no início da noite acima da Floresta Amazônica, principalmente na estação chuvosa.

4.2.4 Onda Longa Superficial (R_s)

Diferentemente da estação anterior, no período diurno a R_s não é discrepante entre os sítios (figura 30) em seus valores máximos. A variabilidade horária da R_s foi similar na floresta de Mata Atlântica e canalial, mas novamente nota-se a influência da nebulosidade. Essa influência é maior na floresta de Mata Atlântica, uma vez que

a nebulosidade afetou a R_g , conseqüentemente, influenciou a quantidade de energia disponível no sistema. Observa-se que diurnamente na floresta de Mata Atlântica (figura 30a) teve mais isolinhas de 470 W.m^{-2} , enquanto no canavial (figura 30b) 480 W.m^{-2} em razão da menor nebulosidade e maior incidência da R_g (ver figura 23b). Já no período noturno (observe os tons azuis e verdes) teve uma maior R_s na floresta de Mata Atlântica se comparado ao canavial.

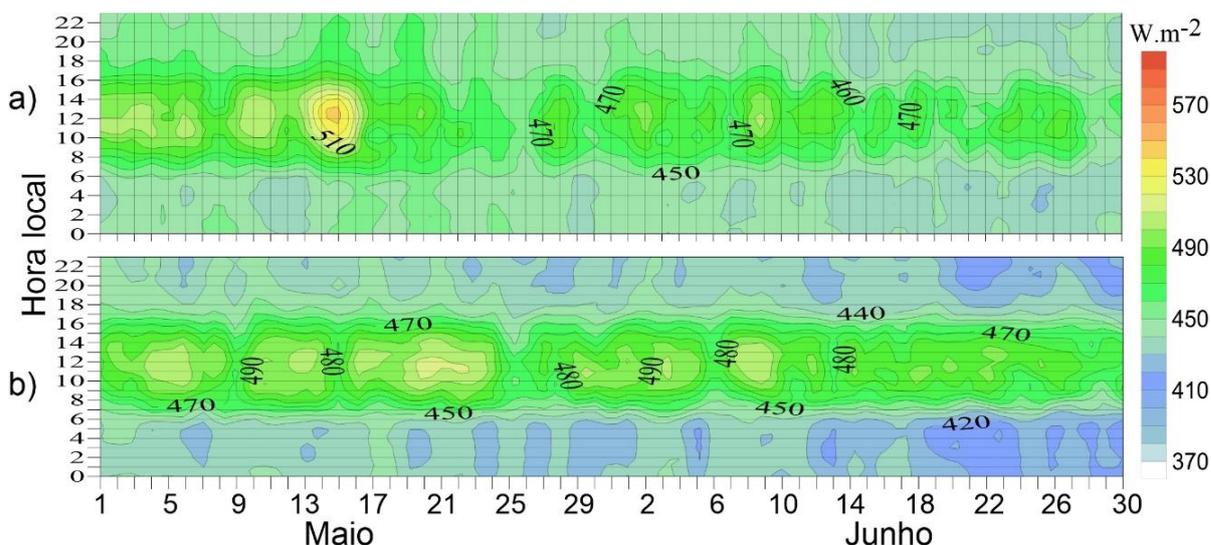


Figura 30 – Médias horárias-diárias de Radiação de Onda Longa Superficial (R_s) (W.m^{-2}) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação chuvosa.

Corroboram com esses resultados o que foi relatado por Souza Filho (2002) que, em estudo conduzido em uma floresta tropical, associou a menor R_s no período chuvoso com a menor T_{ar} em consequência da menor temperatura da superfície.

Em média, a R_s foi maior na floresta de Mata Atlântica (tabela 7), mas isso não significa que em termos absolutos a R_s foi maior que no canavial. No período diurno a média na floresta de Mata Atlântica ($466,73 \text{ W.m}^{-2}$) foi próximo ao do canavial ($468,74 \text{ W.m}^{-2}$), mas no noturno a R_s foi maior na floresta de Mata Atlântica com $444,38 \text{ W.m}^{-2}$ e no canavial com $431,49 \text{ W.m}^{-2}$. Por isso a média da R_s foi maior na floresta de Mata Atlântica em razão do armazenamento de energia pela biomassa da floresta de Mata Atlântica, pois essa energia no dossel pode ser um componente significativo em virtude dos grandes volumes de ar e biomassa no dossel em floresta alta (DANTAS et al., 2011). Também pelo mesmo motivo o DP na floresta de Mata Atlântica foi menor que no canavial em consequência da menor variabilidade horária. Para reforçar essa afirmação quando observa-se que o Q1 e Md da floresta de Mata Atlântica são maiores, ou seja, os 50% dos dados (correspondem ao período noturno) da floresta de Mata Atlântica são maiores. Mas o Q3 e P95 do canavial são maiores

do que na floresta de Mata Atlântica. Apesar disso, o CV mostra que há uma homogeneidade do conjunto de dados dos dois sítios e que a média é uma boa medida para representá-los.

Tabela 7 – Média (\bar{x}), desvio padrão (DP), assimetria (As), curtose (K), coeficiente de variação (CV), primeiro quartil (Q1), mediana (Md), terceiro quartil (Q3) e 95º percentil (P95) da Radiação de Onda Longa Superficial (Rs), em $W.m^{-2}$, na estação chuvosa.

Sítios	Medidas descritivas								
	\bar{x}	DP	As	K	CV	Q1	Md	Q3	P95
Mata Atlântica	456,75	19,20	1,207	1,397	0,042	442,23	451,39	466,98	494,99
Canavial	451,69	25,68	0,672	-0,678	0,056	432,2	442,1	471,6	499,9

Visualmente pode-se observar a distribuição (figura 31) com assimetria positiva nos dois sítios, cujo lado mais longo do polígono de frequência à direita do centro. Em outras palavras, a Rs teve uma maior frequência abaixo da média (lado esquerdo da média). Também as duas distribuições são classificadas como leptócurtica. É possível observar que o lado direito da distribuição na floresta de Mata Atlântica tem uma linha crescente até o centro da distribuição. Mas no canavial tem uma linha com frequência quase constante até chegar a média. Isso, novamente, mostra como ocorreu uma maior frequência da Rs acima da média no canavial com relação a floresta de Mata Atlântica.

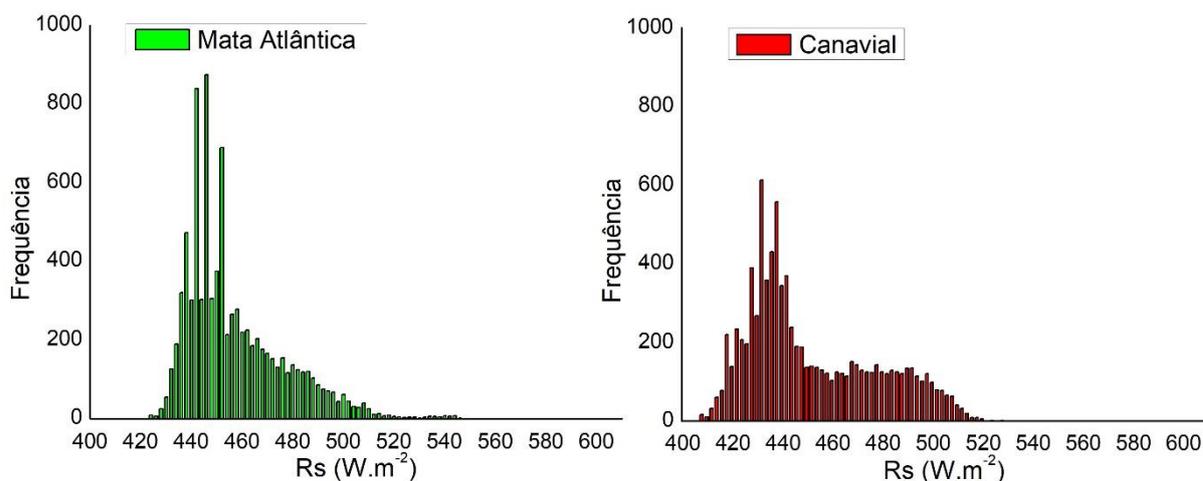


Figura 31 - Distribuição da frequência da Radiação de Onda Longa Superficial (R_s) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação chuvosa.

Comparado a estação anterior, as medidas de dispersão apresentaram uma menor distância nos dois sítios (figura 32) justamente em virtude da menor variação horária. Além disso uma menor distância entre o Q1 e Md. Já ao analisar as diferenças entre os dois sítios nesta estação nota-se uma maior amplitude no canavial. A distância entre o Q1, Md e Q3 é menor na floresta de Mata Atlântica em consequência da maior R_s no período noturno.

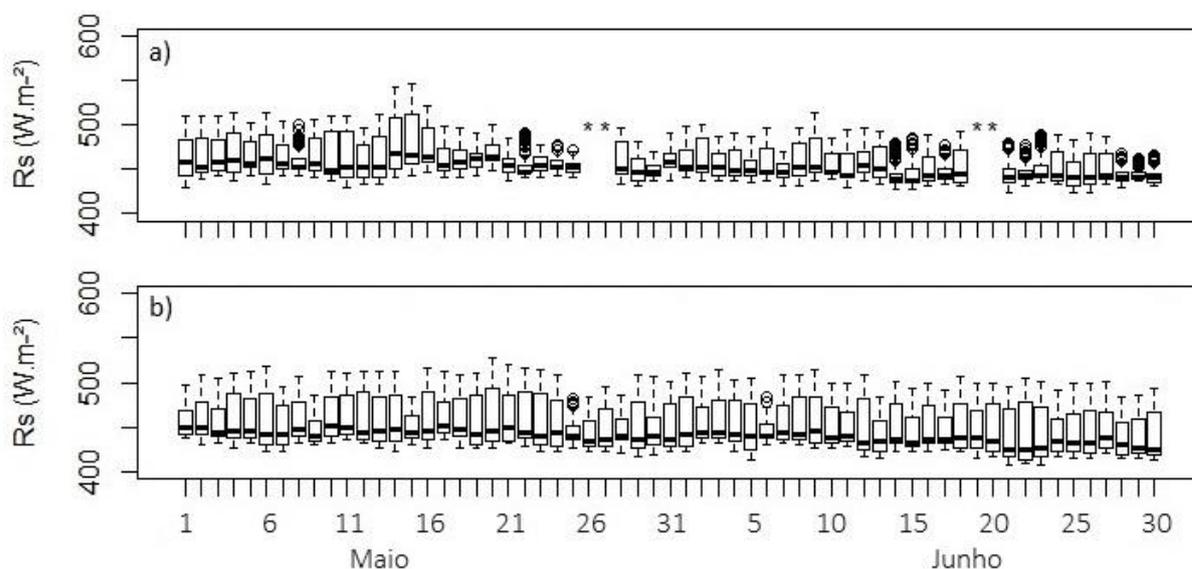


Figura 32 – Box Plot da Radiação de Onda Longa Superficial (R_s) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação chuvosa. *Dias com dados incompletos.

A curva horária média da R_s (figura 33) tem o mesmo padrão nos dois locais com máximos após o meio dia e mínimos às 6 horas. As curvas se cruzam (R_s igual nos dois sítios) apenas no início da manhã e no fim da tarde. Isso acontece porque no período noturno a R_s é menor no canavial, mas quando a R_g incide sobre a superfície,

ela aquece mais rápido no canavial e, por conseguinte, no período diurno a R_s é maior. Mas como no canavial retém-se menos energia, ele resfria mais rápido e a curva média volta a ser menor no canavial. No ponto mínimo a R_s é $12,87 \text{ W.m}^{-2}$ menor no canavial e no pico máximo é $8,81 \text{ W.m}^{-2}$ maior em relação a floresta de Mata Atlântica. Com relação a estação anterior, teve uma diminuição na diferença do pico máximo entre os dois sítios. Isso pelo fato da menor incidência da R_g nesta estação e, conseqüentemente, um menor aquecimento da superfície. O mesmo foi visto na estação seca, no entanto, uma menor discrepância neste período porque áreas de não florestas são mais suscetíveis a variações microclimáticas sazonais (GOMES et al., 2015; WEBLER et al., 2013).

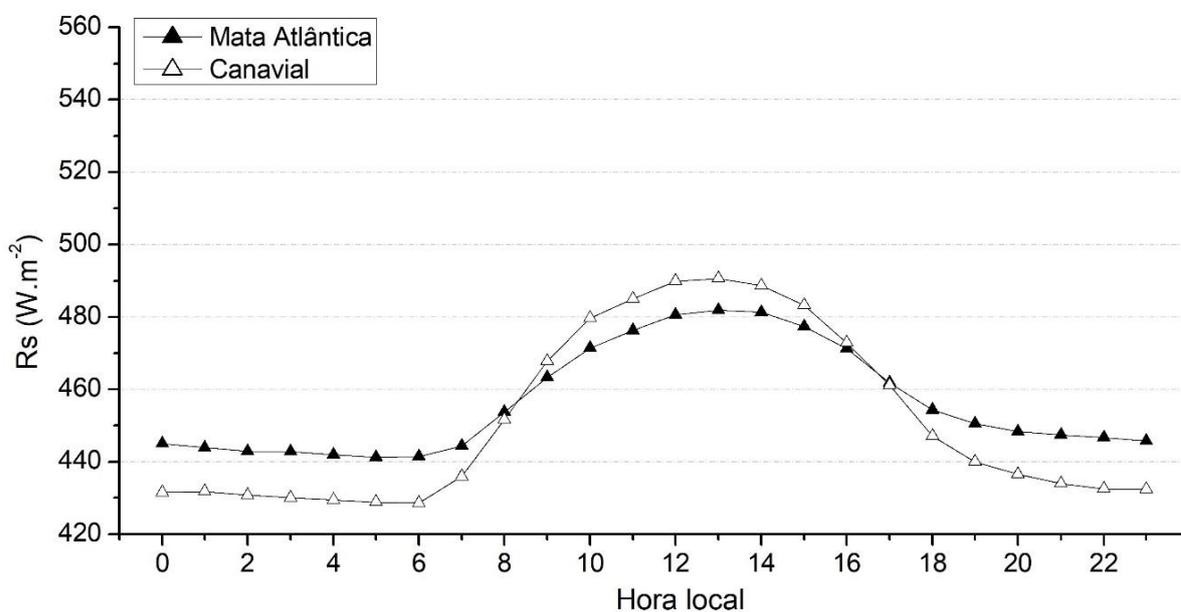


Figura 33 - Variação média horária da irradiância superficial (R_s) (W.m^{-2}) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação chuvosa.

Na estação anterior o solo estava exposto em razão do tamanho da cana-de-açúcar, mas nesta estação a planta estava com altura variando entre 2,5 a 3 metros. Isso ocasiona, como relatado por Carvalho et al. (2018), uma menor R_s em razão da maior cobertura vegetal. Até mesmo em uma cultura como a soja com menor dossel influencia, mesmo que pouco, para uma menor emissão de OL com o crescimento da cultura (SOUZA et al., 2013). Então, além da nebulosidade soma-se esse fato que contribuiu para um menor impacto da substituição de floresta de Mata Atlântica por canavial.

Souza Filho et al. (2006) encontraram, em um estudo no nordeste da Amazônia, para o período chuvoso R_s média de 417 W.m^{-2} , ligeiramente menor que o visto nesse

estudo na floresta de Mata Atlântica. Isso, possivelmente, devido a variação de precipitação/nebulosidade entre os dois sítios comparados. Já Carvalho et al. (2018), em um estudo conduzido no canavial no semiárido, relatam média da R_s de $39 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ para o período chuvoso que foi similar ao encontrado neste estudo ($39,02 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$).

4.2.5 Balanço de Ondas Longas (BOL)

O BOL teve características semelhantes nos dois locais (figura 34) e representa a radiação de OL no sistema superfície-atmosfera na troca de energia — absorção, emissão e reemissão — entre a superfície e atmosfera. Observa-se que em dias nublados o BOL foi próximo a zero e em dias sem nebulosidade (menos registros de precipitação) foi menor. Isso corrobora com Singh et al. (2014) sobre um estudo na Índia, na qual o BOL aumenta com a precipitação. Em dias nublados a radiação de OL praticamente foi constante o dia todo, mas em dias sem nebulosidade, principalmente na floresta de Mata Atlântica, teve um menor saldo após o meio dia. No canavial a variabilidade horária é similar com mínimos no período diurno e máximos no período noturno.

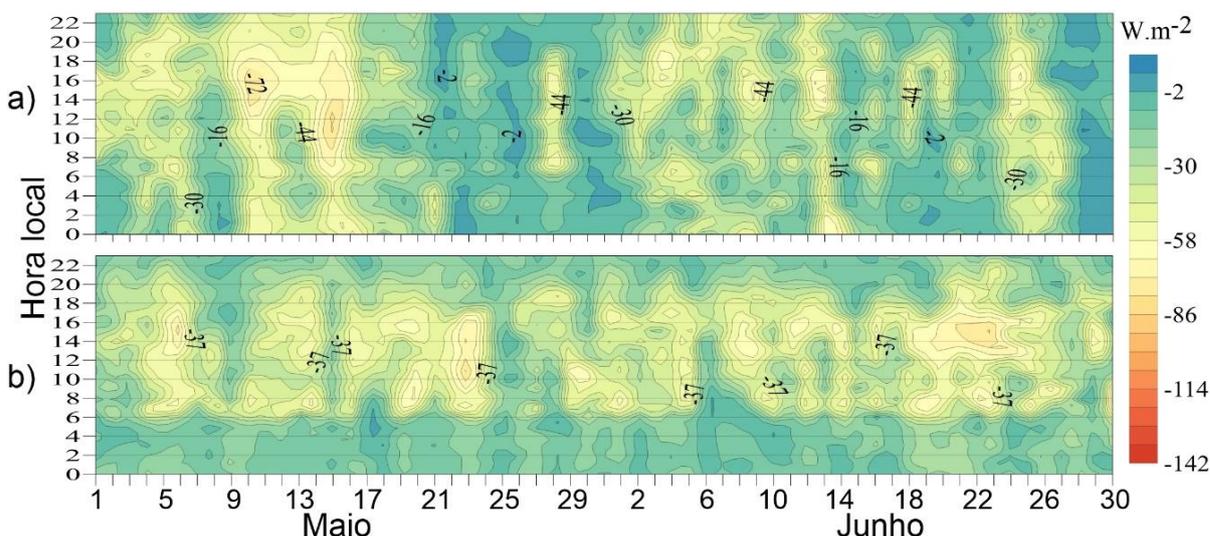


Figura 34 – Médias horárias-diárias de Balanço de Onda Longa (BOL) (W.m^{-2}) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação chuvosa.

Apesar da R_s média ser maior na floresta de Mata Atlântica, a média do BOL no canavial foi menor (tabela 8). Isso ocorreu porque a R_a teve uma média menor no canavial, uma vez que o BOL é a diferença dessas duas componentes. Devido a essa influência da R_a no BOL, o DP foi maior na floresta de Mata Atlântica. Observa-se que o DP nos dois sítios são próximos das médias e por isso tem-se um CV tão alto nos dois locais. Assim, diferente da estação anterior, nota-se uma heterogeneidade dos

dados e a média do BOL torna-se menos representativa para este conjunto de dados. O Q1 dos dois sítios fora próximo, mas a Md, Q3 e P95 foram menores no canavial. Ao observa-se a figura 33, vê-se que o Q1 representa o BOL no período diurno em dias claros e a Md, Q3 e P5 o BOL no período noturno e em dias nublados (ver tons verdes e azuis na figura 34).

Tabela 8 – Média (\bar{x}), desvio padrão (DP), assimetria (As), curtose (K), coeficiente de variação (CV), primeiro quartil (Q1), mediana (Md), terceiro quartil (Q3) e 95º percentil (P95) do Balanço de Onda Longa (BOL), em $W.m^{-2}$, na estação chuvosa.

Sítios	Medidas descritivas								
	\bar{x}	DP	As	K	CV	Q1	Md	Q3	P95
Mata Atlântica	-25,71	21,53	-0,428	-1,096	-0,837	-45,24	-20,71	-6,01	0
Canavial	-28,80	19,75	-0,502	-0,748	-0,686	-44,84	-24,26	-13	-1,885

A forma da distribuição dos dados nos dois locais (figura 35) é de assimetria negativa e curva fechada com os dados fortemente concentrados em torno da média (leptocúrtica). As curvas do lado esquerdo das distribuições foram aproximadamente iguais, mas observa-se que há uma alta frequência próximo a zero na floresta de Mata Atlântica por influência da nebulosidade (R_a maior) no BOL.

É interessante ressaltar que o BOL $0 W.m^{-2}$ não significa, obviamente, que há menos ou nenhuma radiação de OL, mas que a R_a é igual a R_s . Na distribuição (figura 35) observa-se frequências de BOL positivo nos dois sítios e com maior frequência na floresta de Mata Atlântica. Isso significa uma maior incidência de radiação de OL em direção a superfície (R_a) do que da superfície para a atmosfera (R_s). Mas, possivelmente, isso não quer dizer que atmosfera estava com maior temperatura que a superfície. O que acontece é que em dias com céu claro podem ocorrer uma ligeira cobertura de nuvens que, como relatado anteriormente, refletem e/ou reemitem a R_s e, por isso, tem-se um BOL positivo, o qual ocorreu apenas no período diurno nos dois sítios. Esses dados podem não aparecer em médias horárias, mas é visto nas distribuições porque estes dados são registros a cada 10 minutos. Corroborando com isso resultados de Ayoola et al. (2014), onde relatam que a variabilidade de curto prazo (<1 hora) dos valores médios da radiação líquida é maior na estação chuvosa do que

na estação seca, o que atribuíram ao aumento da nebulosidade e UR, bem como a uma atmosfera dinamicamente instável.

Segundo Oke (1987), em noites de céu nublado a R_a pode ser superior à R_s , em razão aos processos de reflexão e emissão ocasionados pela presença de nuvens, mas no estudo em caso foi registrado apenas no período diurno. Galvão e Fisch (2000), esperavam obter valores superiores de R_a em relação à R_s na região amazônica em dias nublados, já que as nuvens são as maiores contribuidoras de R_a para a superfície, mas não encontraram.

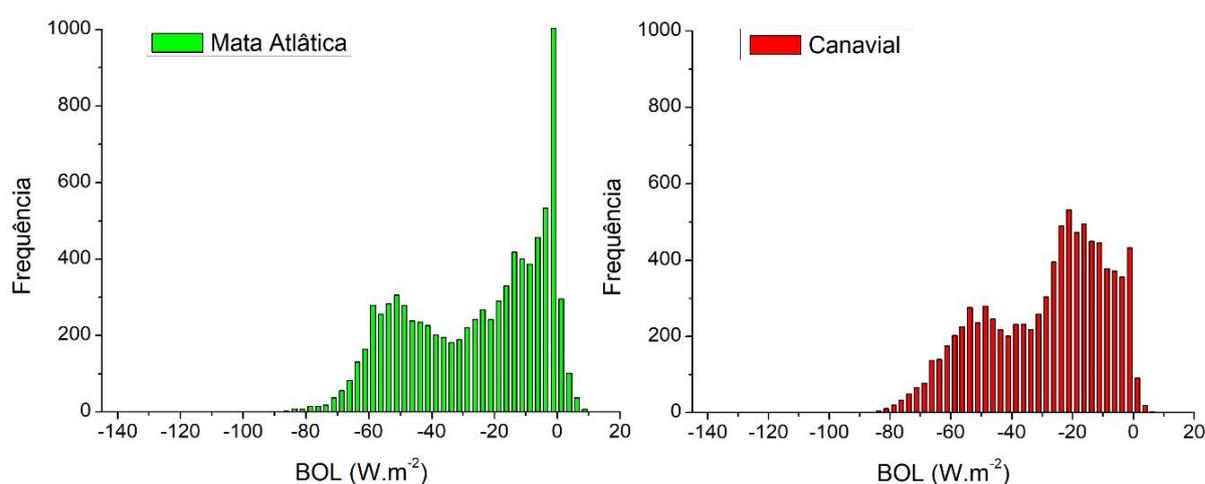


Figura 35 - Distribuição da frequência do Balanço de Onda Longa (BOL) (W.m^{-2}) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação chuvosa.

Nas duas estações correram uma grande variação no posicionamento do Q1, Md e Q3, mas estas variações foram maiores nesta estação (figura 36) em função da variabilidade do BOL com a nebulosidade. Ainda, observa-se que nesta estação teve uma menor amplitude total e interquartil no canavial por conta do tamanho da planta, como explicado anteriormente. Já ao comparar os dois sítios, nota-se uma maior amplitude total e interquartil no canavial em razão da maior viabilidade da R_s no canavial. É interessante observar que em alguns dias ocorreu uma menor distância nas amplitudes e concentração próximo a 0 W.m^{-2} . Como por exemplo, no final de dezembro na floresta de Mata Atlântica que foi devido a nebulosidade, pois nestes dias ocorreram os maiores registros de precipitação.

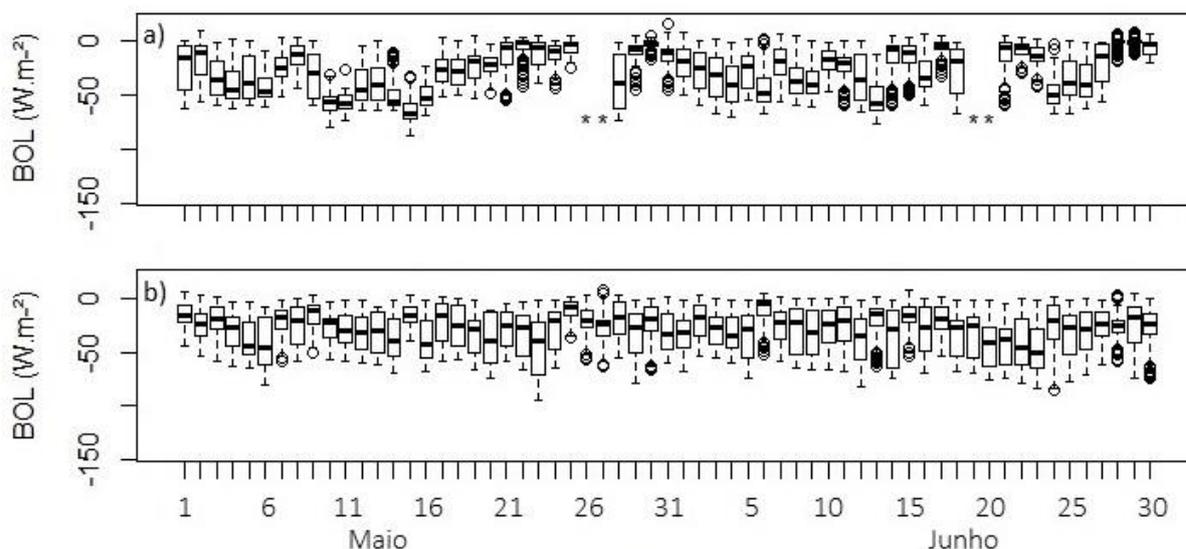


Figura 36 – Box Plot do Balanço de Onda Longa (BOL) ($W.m^{-2}$) na a) floresta de Mata Atlântica e b) Canavial na estação chuvosa. *Dias com dados incompletos.

O comportamento médio do BOL (figura 37) foi similar a estação anterior (figura 20) em seus picos máximos e mínimos. Mas exatamente nesses pontos ocorreu uma menor diferença entre os dois sítios nesta estação. A curva média horária do BOL tem menor amplitude, se comparado a curva da R_a e R_s (figuras 29 e 33), como também é possível notar que os mínimos ocorrem às 17 h e os máximos às 3 h. Nota-se claramente uma menor variabilidade na floresta de Mata Atlântica, conforme os motivos anteriormente relatados. Os máximos ocorrem nesse horário devido a maior R_s e os mínimos por causa da menor R_s . Além disso, as variações nas curvas também são por influência da nebulosidade. Assim como na R_s , o BOL é diferente no período diurno e noturno no canavial quando comparado a floresta de Mata Atlântica: período diurno menor no canavial e período noturno menor na floresta de Mata Atlântica. É interessante registrar que o BOL, de certo modo, é dominado pela R_s , então as curvas acompanham a R_s .

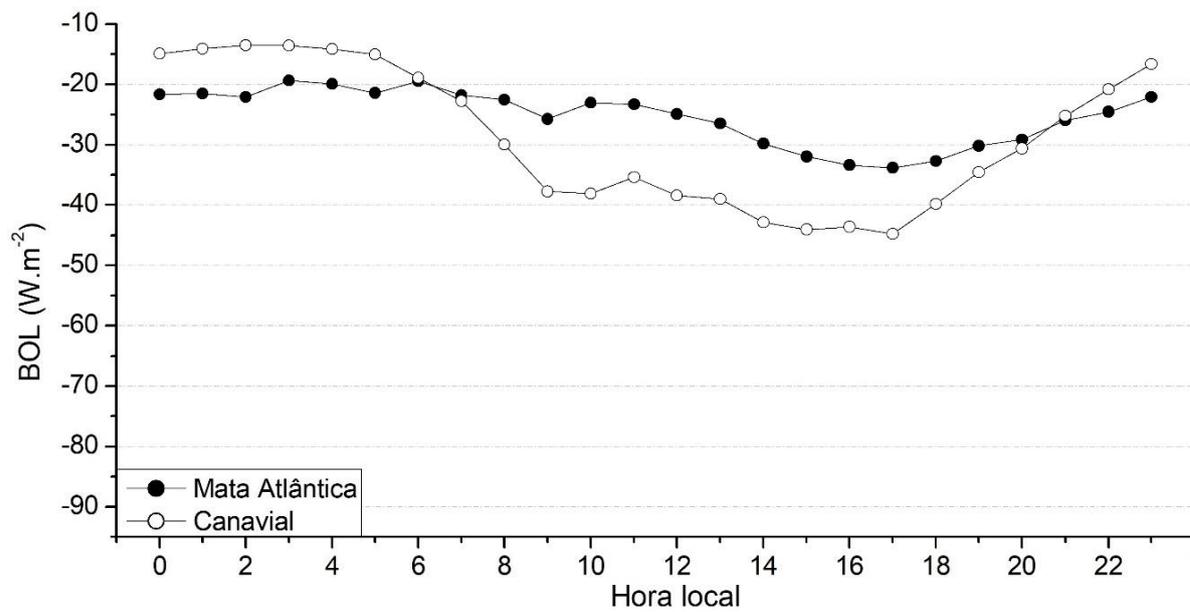


Figura 37 - Variação média horária do Balanço de Onda Longa (BOL) ($W.m^{-2}$) na floresta de Mata Atlântica e Canavial na estação chuvosa.

5 CONCLUSÕES

Na estação seca a precipitação esperada de acordo com a normal climatológica era aproximadamente igual na floresta de Mata Atlântica e no canavial, mas nesta estação a precipitação registrada foi 79,56% maior no canavial. Mas ao observar o Kt, foram menos de 6% de dias nublados (NB) nos dois sítios. Por isso, pouco influenciou a energia incidente à superfície (Rg), pois foi, em média, apenas 8,49% menor no canavial (486,63 W.m⁻²) em comparação com a floresta de Mata Atlântica (531,63 W.m⁻²).

O impacto da substituição de floresta de Mata Atlântica por canavial acarretou em um aumento, em média, na estação seca de 3,95% da Rs no período diurno (média de 490,07 W.m⁻² na floresta de Mata Atlântica para 510,23 W.m⁻² no canavial). Não ficou evidente um impacto significativo no período noturno que teve, em média, 0,71% menor emissão no canavial (447,67 W.m⁻² na floresta de Mata Atlântica para 444,46 W.m⁻² no canavial).

A substituição da floresta de Mata Atlântica por canavial impactou, em média, na estação seca numa diminuição 26,07% do BOL no período diurno (-54,04 W.m⁻² na floresta de Mata Atlântica para -73,10 W.m⁻² no canavial), ou seja, mais energia no sistema superfície-atmosfera. Já no período noturno constatou-se aumento de 22,99% do BOL (-49,11 W.m⁻² na floresta de Mata Atlântica para -37,82 W.m⁻² no canavial), ou seja, menos energia no sistema superfície-atmosfera.

Na estação chuvosa a precipitação esperada também era aproximadamente igual para os dois sítios, mas teve uma diferença considerável. Isso resultou em diferença de 13,03% da Rg entre os dois sítios, maior no canavial. No entanto, ao observar o Kt, os dois sítios tiveram poucos dias considerados céu claro (CL). A Rg teve uma redução sazonal de 39,35% na floresta de Mata Atlântica (322,53 W.m⁻²) e 23,68% no Canavial (370,87 W.m⁻²).

O impacto do desflorestamento na Rs foi reduzido na estação. Essa redução no impacto resultou em Rs com média praticamente igual nos dois sítios no período diurno, e com principal diferença apenas de no período noturno (444,38 W.m⁻² na floresta de Mata Atlântica e 431,49 W.m⁻² no canavial). A Rs na floresta de Mata Atlântica no período diurno teve uma redução sazonal de 4,76% e 0,73% no noturno. Já no canavial uma redução 8,13% no diurno e 2,91% no noturno.

Com isso, a R_s foi a principal variável que influenciou no BOL. Na floresta de Mata Atlântica na estação chuvosa ocorreu um aumento sazonal de 48,02% no período diurno e 54,11% no período noturno, enquanto no Canavial aumento de 47,42% no diurno e 53,94% no noturno. Na estação chuvosa o impacto da substituição de floresta de Mata Atlântica por canavial levou a uma redução do BOL de 26,9% no período diurno (-28,1 $W.m^{-2}$ na floresta de Mata Atlântica para -38,43 $W.m^{-2}$ no canavial) e aumento 22,72% no período noturno (-22,53 $W.m^{-2}$ na floresta de Mata Atlântica para -17,41). O maior impacto ocorreu com relação a amplitude horária que foi 73,59% maior no canavial.

REFERÊNCIAS

- ARTAXO, P.; OLIVEIRA, P. H.; LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, T. M.; RIZZO, L. V.; JUNIOR, C. P.; PAIXÃO, M. A.; LONGO, K. M.; FREITAS, S.; CORREIA, A. L. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3, p. 1-22, 2006.
- AYOOLA, M. A.; SUNMONU, L. A.; BASHIRU, M. I.; JEGEDE, O. O. Measurements of net all-wave radiation at a tropical location, Ile-Ife, Nigeria. **Atmosfera**, v. 27, n. 3, p. 305-315, 2014.
- Aqui tem Mata. SOS Mata Atlântica, 2017. Disponível em: <<https://aquitemmata.org.br/>>. Acesso em: 19 set. 2019.
- ALMEIDA, D. S. **Recuperação ambiental da mata atlântica**. SciELO-Editus-Editora da UESC. 3ª Edição, p. 189, 2016.
- Agência Nacional de Águas - ANA. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos –SNIRH, 2019. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/>>. Acesso em: 11 set. 2019.
- BARROS, A. H. C.; ARAUJO FILHO, J. C.; SILVA, A. B.; SANTIAGO, G. A. C. F. Climatologia do estado de Alagoas. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Recife-PE, Embrapa Solos, p. 32, 2012.
- BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. D. S.; DALMAGRO, H. J.; MACHADO, N. G.; DANELICHEN, V. H. M.; SOUZA, M. C. Mudança no microclima provocada pela conversão de uma floresta de cambará em pastagem no norte do Pantanal. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 10, n. 1, p. 61-68, 2012.
- CARVALHO, H. D. S.; MOURA, M. S. B.; & SILVA, T. G. F. Fluxos de radiação e energia em Caatinga preservada e cana-de-açúcar no Semiárido. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 452-458, 2018.
- CARDOSO, J. T. A Mata Atlântica e sua conservação. **Revista Encontros Teológicos**, v. 31, n. 3, p. 441-458, 2016.
- CARNEIRO, R. G.; MOURA, M. A. L.; LYRA, R. F. F.; ANDRADE, A. M. D.; SANTOS, A.B.; MAIA, R. G. X. Fluxo de calor do solo e saldo de radiação dentro de uma área de Mata Atlântica em comparação com uma de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 3, p. 555-565, 2013.
- CARMO, J. F. A.; DE MOURA, M. S. B.; FREIRE, T. G. Balanço de radiação em cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial. **XVIII Congresso brasileiro de Agrometeorologia e VII Reunião Latino Americana de Agrometeorologia**, 2013.
- COSTA, S. M. S.; SHINE, K. P. Outgoing longwave radiation due to directly transmitted surface emission. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 69, n. 6, p. 1865-1870, 2012.

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. Infoclima, 2016. Disponível em: <<http://infoclima1.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 08 de novembro de 2019.

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. Infoclima, 2017. Disponível em: <<http://infoclima1.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 21 de outubro de 2019.

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. Infoclima, 2018. Disponível em: <<http://infoclima1.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 21 de outubro de 2019.

Companhia nacional de abastecimento (Conab). Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/>>. Acesso em; 05 dez. 2018.

DANTAS, A.; DA SILVA, V. D. P.; DA COSTA, A. C.; DAS CHAGAS, G. F. Fluxos de calor no dossel vegetativo e infiltração de água no solo, em floresta tropical. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.12, p.1266–1274, 2011.

GALVÃO, J. A. C.; FISCH, G. Balanço de radiação em área de pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2000.

GOMES, J. B.; WEBLER, A. D.; AGUIAR, R. G.; AGUIAR, L. J. G.; & NUÑES, M. L. A. Conversão de florestas tropicais em sistemas pecuários na Amazônia: quais as implicações no microclima da região? **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, p. 67-81, 2015.

GUEDES, T. A.; MARTINS, A. B. T.; ACORSI, C. R. L.; JANEIRO, V. Estatística descritiva. **Projeto de ensino aprender fazendo estatística**, p. 1-49, 2005.

IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. Ed. AP. Vancouver, Canadá. P. 389, 1983.

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Normais climatológicas do Brasil, 2009. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 18 set. 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA, 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1612>>. Acesso em: 05 fev. 2019

LOPES JÚNIOR, J.M. 2017. **Medidas da radiação solar direta na região de Maceió-AL**. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, p. 61.

LIBERATO, A. M.; CARDOSO, F. L. Análises da radiação de onda curta e onda longa na Amazônia. **Revista de Geografia**, v. 27, n. 3, p. 169-182, 2010.

LEITÃO, M. M. V. B. **Balanço de radiação em três ecossistemas da floresta Amazônica: campina, campinarana e mata densa**. Tese de Doutorado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. p.153, 1994.

MACHADO, M.A.B.L. **Florística e fitossociologia do estrato arbóreo de fragmentos de mata atlântica da usina Coruripe – estado de Alagoas**. Dissertação de Mestrado em Agronomia, Universidade Federal de Alagoas, p. 100, 2003.

MALEK, E. Evaluation of effective atmospheric emissivity and parameterization of cloud at local scale. **Atmospheric Research**, v 45, p. 41–54, 1997.

MESQUITA, F. L. L.; MARQUES FILHO, E. P.; KARAM, H. A.; ALVALÁ, R. C. S. Balanço de radiação no Pantanal Sul Mato-grossense durante a estação seca. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 1, p. 65-74, 2013.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. D. O. Dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **In Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Rio de Janeiro, p. 1334-1342, 2000.

MOURA, R. G. **Estudos das radiações solar e terrestre acima e dentro de uma floresta tropical úmida**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. p.147, 2001.

MOURA, F. D. B. P. **A Mata Atlântica em Alagoas: Conversando sobre Ciências em Alagoas, Maceió**. Edufal, p. 88, 2006.

Ministério do Meio Ambiente – MMA. Roteiro para a elaboração e implementação dos planos municipais de conservação e recuperação da Mata Atlântica. Brasília, MMA, 2017.

Ministério do Meio Ambiente – MMA. Mata Atlântica. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica>. Acesso em: 23.agos.2017.

PASHIARDIS, S.; KALOGIROU, S. A.; & PELENGARIS, A. Characteristics of longwave radiation through the statistical analysis of downward and upward longwave radiation and inter-comparison of two sites in Cyprus. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 164, p. 60-80, 2017.

OKE, T.R. **Boundary Layer Climates**. London, Methuen Co., p. 435, 1987.

PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, G. G.; REIS, M. D. G. F.; DA COSTA, J. M. N.; CHAVES, J. H. Temperatura do solo no interior de um fragmento de floresta secundária semidecidual. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 1, p. 1-8, 2002.

PIRES, W. N.; MOURA, M. S. B. SOUZA, L. S. B.; SILVA, T. G. F.; SOUSA CARVALHO, H. F. Fluxos de radiação, energia, CO₂ e vapor d'água em uma área de caatinga em regeneração. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, 2018.

PINTO, L. P.; BEDÊ, L.; PAESE, A.; FONSECA, M.; PAGLIA, A.; LAMAS, I. Mata Atlântica Brasileira: os desafios para conservação da biodiversidade de um hotspot mundial. **Biologia da conservação: essências**. RiMa editora, São Carlos. p. 91-118, 2006.

QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; QUERINO, J. K. A. S.; VON RADOW, C.; MARQUES FILHO, A. D. O. Estudo da radiação solar global e do índice de transmissividade (kt), externo e interno, em uma floresta de mangue em Alagoas–Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, p. 204-294, 2011.

QUERINO, C. A. S. **Estimativa da Radiação de Onda Longa Atmosférica horária no estado de Mato Grosso**. Tese de Doutorado em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso – Cuiabá. p. 40-41, 2016.

SANTOS, A. L.; PEREIRA, E. C.; & HOLLANDAL, A. L. A expansão da cana-de-açúcar no espaço alagoano e suas consequências sobre o meio ambiente e a identidade cultural. **Revista de geografia agrária**, v. 2, n. 4, p. 19-37, 2007.

SILVA, T. D.; MOURA, M. D.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; SOUZA, L. D.; BRANDÃO, E. O. Variação do balanço de radiação e de energia da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n. 2, p. 139-147, 2011.

SOS Mata Atlântica. 2015. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2016/08/RA_SOSMA_2015-Web.pdf>.

SOS Mata Atlântica. Relatório anual de atividades, 2017. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2018/10/AF_RA_SOSMA_2017_web.pdf>.

SOS Mata Atlântica. Relatório técnico, 2018. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/link/Atlas_Mata_Atlantica_2016-2017_relatorio_tecnico_2018_final.pdf>. Acesso em: 14.nov.2018.

SOS Mata Atlântica. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, 2019. Disponível em:< <https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/06/Atlas-mata-atlanticaDIGITAL.pdf>>.

SOUZA, P. J. O. P.; ROCHA, E. J. P. D.; RIBEIRO, A. Impactos do avanço da soja no balanço de radiação no leste da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 43, n. 2, p. 169 – 178, 2013.

SOUZA, L. S. B.; DE MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; DA SILVA, T. G. F. Balanço de radiação em ecossistema de Caatinga preservada durante um ano de seca no Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 41-55, 2015.

SOUZA FILHO, J. D. C. Variação sazonal dos componentes do balanço de radiação e energia sobre a floresta de Caxiuanã. Viçosa, MG. Dissertação de Mestrado em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, p. 67, 2002.

SOUZA-FILHO, J. D. C.; RIBEIRO, A.; COSTA, M. H.; COHEN, J. C. P.; ROCHA, E. J. P. Variação sazonal do balanço de radiação em uma floresta tropical no nordeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3b, p. 318-330, 2006.

SINGH, N.; BHATTACHARYA, B. K.; NANDA, M. K.; SONI, P.; PARIHAR, J. S. Radiation and energy balance dynamics overyoung chir pine (*Pinus roxburghii*) system in Doon of western Himalayas. **Journal of Earth System Science**, v. 123, n. 7, p. 1451–1465, 2014.

STEPHENS, G. L.; Wild, M.; STACKHOUSE Jr, P. W.; L'ECUYER, T.; KATO, S.; HENDERSON, D. S. The global character of the flux of downward longwave radiation. **Journal of Climate**, v. 25, n. 7, p. 2329-2340, 2012.

Varejão-Silva, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Recife, Brasil, versão digital 2, 2006.

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