

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**MODELAGEM DA DINÂMICA TEMPORAL DA
TEMPERATURA DO AR PARA BAIXA UMIDADE EM
ECOSSISTEMAS AMAZÔNICOS**

HOZANA SILVA FERREIRA

PROF. DR. SÉRGIO ROBERTO DE PAULO
ORIENTADOR

PROF.^a DR.^a IRAMAIA JORGE CABRAL DE PAULO
COORIENTADORA

Cuiabá - MT, 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**MODELAGEM DA DINÂMICA TEMPORAL DA
TEMPERATURA DO AR PARA BAIXA UMIDADE EM
ECOSSISTEMAS AMAZÔNICOS**

HOZANA SILVA FERREIRA

*Tese de Doutorado apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Física Ambiental da
Universidade Federal de Mato Grosso, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Doutora em Física Ambiental.*

PROF.DR. SÉRGIO ROBERTO DE PAULO

ORIENTADOR

PROF.^a DR.^a IRAMAIA JORGE CABRAL DE PAULO

COORIENTADORA

Cuiabá - MT, 2018

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

F383m Ferreira, Hozana Silva.
Modelagem da Dinâmica Temporal da Temperatura do Ar para baixa Umidade
em Ecossistemas Amazônicos / Hozana Silva Ferreira. -- 2018
115 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Sérgio Roberto de Paulo.

Co-orientadora: Iramaia Jorge Cabral de Paulo.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física,
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2018.

Inclui bibliografia.

1. Microclima. 2. Mudanças Climáticas. 3. Séries temporais. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

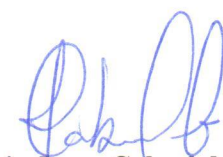
FOLHA DE APROVAÇÃO

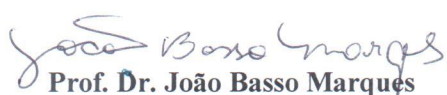
TÍTULO: MODELAGEM DA DINÂMICA TEMPORAL DA
TEMPERATURA DO AR PARA BAIXA UMIDADE EM
ECOSSISTEMAS AMAZÔNICOS

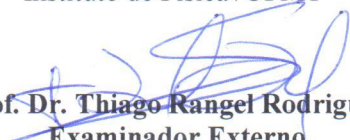
AUTORA: HOZANA SILVA FERREIRA

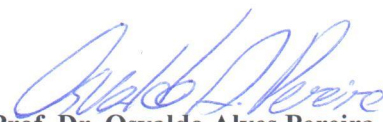
Tese de Doutorado defendida e aprovada em 29 de março de 2018, pela comissão julgadora:


Prof. Dr. Sérgio Roberto de Paulo
Orientador
Instituto de Física /UFMT


Profa. Dra. Iramaia Jorge Cabral de Paulo
Coorientadora
Instituto de Física /UFMT


Prof. Dr. João Basso Marques
Examinador Interno
Programa Nacional de Pós Doutorado/PNPD/CAPES


Prof. Dr. Thiago Rangel Rodrigues
Examinador Externo
Instituto de Física/UFMS


Prof. Dr. Osvaldo Alves Pereira
Examinador Externo
Universidade de Cuiabá - UNIC

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha Mãe que nos deixou a quem sou muito grata, pela dedicação, ensinamento e principalmente pelo amor incondicional. Ao meu Pai e minha tia Ilda pelo incentivo na minha formação e minhas decisões. Aos meus irmãos pela força nos momentos difíceis e ao meu esposo pelo seu amor e compreensão nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

- Primeiramente agradeço a Deus pela proteção diária, nos guiando nessa caminhada.
- Agradeço a toda minha família por estarem ao meu lado, nos momentos felizes e difíceis da vida.
- Agradeço ao professor orientador Dr. Sérgio Roberto de Paulo, pela excelente orientação desde a época do PIBID, pela paciência e principalmente pela humildade em transmitir seu conhecimento.
- Agradeço a professora co-orientadora Dr^a Iramaia Jorge Cabral de Paulo, pelo incentivo e por acreditar na minha capacidade pessoal da qual tenho muita admiração.
- Ao professor Dr. José de Souza Nogueira (Paraná) pela compreensão e pelo conselho fornecido no decorrer dessa caminhada e pelo incentivo à pesquisa.
- Ao professor Dr. Denilton Carlos Gaio, pelo ensinamento e pela sua dedicação.
- Ao professor Dr. Carlo Ralph de Muis pelo ensinamento no programa estatístico.
- Ao professor Dr. Raphael Gomes pelo ensino da disciplina de programação.
- Aos professores doutores João Basso Marques, Osvaldo Alves Pereira e Thiago Rangel Rodrigues pelo aceite em compartilhar seus conhecimentos.
- A todos os professores Doutores do mestrado e doutorado Física Ambiental, por transmitirem seus conhecimentos me ajudando a desenvolver esta pesquisa.
- Aos amigos do Doutorado Andréia Tavares, Anna Carolinna, Fahim Elias, Gerson Kazuyoshi Kida, Heloisa Marques, Jesumar Siqueira, Luís Annuniação, Marcos Fausto, Rúbia Fantin, Tonny Jader pela amizade e pelo carinho.
- Aos todos os colegas do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental pelo compartilhamento de conhecimentos.
- A Soilce Carrilho, pela atenção e gentileza desde o início do mestrado.

- Ao Cesário pelo suporte em assuntos relativos à secretaria, pela simpatia e educação.
- A Jô pela amizade e alegria e por deixar o ambiente sempre limpo.
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro.
- A todos aqueles que de alguma forma me ajudaram direta ou indiretamente contribuíram na realização dessa Pesquisa.

EPÍGRAFE

“ A mente que se abre a uma nova ideia, jamais voltará ao seu tamanho original”

Albert Einstein

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURA.....	i
LISTA DE TABELA.....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	2
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1 RADIAÇÃO SOLAR.....	4
2.2 BALANÇO DE ENERGIA.....	5
2.3 TEMPERATURA DO AR.....	6
2.4 UMIDADE DO AR.....	7
2.5 CONCENTRAÇÃO DE ÁGUA NA ATMOSFERA.....	8
2.6 CALORIMETRIA.....	10
2.6.1 Fluxo Calor Sensível.....	10
2.6.2 Capacidade Térmica (C) e Calor Específico.....	11
2.6.3 Fluxo Calor Latente.....	11
2.7 PRECIPITAÇÃO.....	12
2.8 CICLO DA ÁGUA.....	12
2.9 AMAZÔNIA E O CLIMA.....	14
2.10 CERRADO.....	15
2.11 PANTANAL.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 LOCAIS DE ESTUDO.....	20
3.1.1 SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA.....	21
3.1.2 REBIO JARU.....	21
3.1.3 FAZENDA MARACAÍ.....	22
3.1.4 FAZENDA MIRANDA.....	23
3.1.5 BAÍA DAS PEDRAS.....	24
3.2 INSTRUMENTAÇÃO E MEDIDAS MICROMETEOROLÓGICAS.....	25
3.2.1 SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA.....	25
3.2.2 REBIO JARU.....	26
3.2.3 FAZENDA MARACAÍ.....	29
3.2.4 FAZENDA MIRANDA.....	31

3.2.5 BAÍA DAS PEDRAS.....	33
3.3 Modelo da Dinâmica da Temperatura do Ar.....	35
3.3.1 Temperatura e Radiação.....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA DA TEMPERATURA E UMIDADE NOS LOCAIS ESTUDADOS.....	43
4.1.1 Temperatura Média Anual na Primeira Metade do Período Diurno.....	43
4.2 SAZONALIDADE.....	50
4.2.1 Sazonalidade da Temperatura do Ar.....	50
4.3 DINÂMICA DOS VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS DA TEMPERATURA DO AR E UMIDADE RELATIVA.....	56
4.3.1 Caracterização da Temperatura máxima diária.....	56
4.3.2 Caracterização da Temperatura mínimo diária.....	61
4.3.3 Caracterização da Umidade máxima diária.....	64
4.3.4 Caracterização da Umidade mínima diária.....	69
4.4 DINÂMICA DO RESFRIAMENTO NOTURNO COMPARADO COM O PREVISTO PELO MODELO SECO CONSIDERANDO OS VALORES MEDIDOS DA UMIDADE RELATIVA.....	73
4.4.1 FAZENDA MIRANDA.....	75
4.4.2 BAÍA DAS PEDRAS.....	77
4.4.3 REBIO JARU.....	79
4.4.4 SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA.....	81
4.4.5 FAZENDA MIRANDA.....	83
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	88
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90

LISTA DE FIGURA

Figura 1- Diagrama do ciclo da Água.....	13
Figura 2- Localizações das áreas de estudo.....	20
Figura 3- Torre das coletas de dados São Gabriel da Cachoeira.....	26
Figura 4- Disposição dos sensores instalados na torre da REBIO Jaru. a) Anemômetro sônico tridimensional à esquerda e analisador de gás por infravermelho de caminho aberto à direita. b) Sensor do saldo de radiação na ponta da haste esquerda.....	29
Figura 5- Torre das coletas de dados Fazenda Macaraí.....	31
Figura 6- Torre micrometeorológica instalada na Fazenda Miranda em uma região com vegetação de pastagem com características de Cerrado.....	33
Figura 7- Torre das coletas de dados Baía das Pedras.....	34
Figura 8- Valores experimentais de Temperatura do Ar medidos na Fazenda Maracaí nos primeiros cinco dias de junho de 2002.....	36
Figura 9- Valores experimentais de Radiação Líquida medidos na Fazenda Maracaí nos primeiros cinco dias de junho de 2002.....	37
Figura 10- Comparação entre αR e $\epsilon \sigma T^4$ para Jun, 2, 2002.....	38
Figura 11- Valores modelados de Temperatura do Ar em comparação com os Valores Experimentais de 1 de junho a 10 de junho de 2002.....	39
Figura 12- Temperatura prevista pelo modelo seco durante a noite.....	42
Figura 13- Média anual da temperatura do ar das 8h30min às 12h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	44
Figura 14- Média anual da temperatura do ar das 19h às 5h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	45
Figura 15- Média Anual da umidade relativa das 08h30min às 12h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	46
Figura 16- Média anual da umidade relativa das 19h às 5h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	47

Figura 17- Valor médio da Taxa de Aquecimento ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$) das 08h30min às 12h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	48
Figura 18- Valor médio Taxa de Resfriamento ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$) das 19h às 5h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	49
Figura 19- Média mensal referente a horas do dia das 08h30min às 12h da Temperatura do Ar, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	50
Figura 20- Média mensal da Temperatura do Ar referente a horas da noite, 19h às 5h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	51
Figura 21- Média mensal da Umidade Relativa referente a horas do dia 08h30min às 12h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	52
Figura 22 Média Mensal Referente a horas do dia 19h às 5h da Umidade Relativa, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	53
Figura 23- Valor médio Taxa de Aquecimento ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$) entre 08h30min e 12h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	54
Figura 24- Valor Médio Taxa de Resfriamento ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$) entre 19h e 5h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	55
Figura 25- Valor diário da Hora Fracionada em que a Temperatura do Ar atinge o valor máximo diário, em função do Dia Juliano, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002).....	57
Figura 26- Valor diário máximo da Temperatura do Ar em função do Dia Juliano nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	58

Figura 27- Valor diário máximo da Temperatura em função da Hora Fracionada nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	60
Figura 28- Valor diário da Hora Fracionada em que a temperatura atinge o valor mínimo diário, em função do Dia Juliano nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	62
Figura 29- Valor diário mínimo da Temperatura em função do Dia Juliano nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	63
Figura 30- Valor diário mínimo da Temperatura da Ar em função da Hora Fracionada nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	64
Figura 31- Valor diário da Hora Fracionada em que a Umidade Relativa atinge o valor máximo diário, em função do Dia Juliano nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	66
Figura 32- Valor diário máximo da Umidade em função do Dia Juliano nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	67
Figura 33- Valor diário máximo da Umidade Relativa em função da Hora Fracionada nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	68
Figura 34- Valor diário Hora Fracionada em que a Umidade Relativa atinge o valor mínimo diário, em função do Dia Juliano nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	70
Figura 35- Valor diário mínimo da Umidade Relativa em função do Dia Juliano nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	71

Figura 36 - Valor diário mínimo da Umidade Relativa em função da Hora Fracionada nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002)	72
Figura 37 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (Fazenda Miranda - janeiro a junho 2013)	75
Figura 38 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (Fazenda Miranda – julho a dezembro 2013)	76
Figura 39 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (Baía das Pedras - janeiro a junho 2012 e 2013)	77
Figura 40 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (Baía das Pedras - julho a dezembro 2012 e 2013)	78
Figura 41 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (Rebio Jaru- janeiro a junho 2008)	79
Figura 42 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (Rebio Jaru- julho a dezembro 2008)	80
Figura 43 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (São Gabriel da Cachoeira- janeiro a junho 2008)	81
Figura 44 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (São Gabriel da Cachoeira- julho a dezembro 2008)	82
Figura 45 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (Fazenda Maracaí- janeiro a junho 2002)	83
Figura 46 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (Fazenda Maracaí- julho a dezembro 2008)	84

LISTA DE TABELA

Tabela 1- Descrição dos instrumentos e alturas de instalação, utilizados nas medidas de saldo de radiação líquida (R_n), radiação solar (R_g), radiação fotossinteticamente ativa (PAR), umidade do ar, temperatura e velocidade de fricção do ar (u^*)	27
Tabela 2- Relação das variáveis, dos instrumentos e das alturas dos instrumentos instalados na torre da REBIO Jarú.....	28
Tabela 3- Média e desvio padrão dos cinco locais do valor diário máximo da temperatura.....	61
Tabela 4- Média e desvio padrão dos cinco locais do valor diário mínimo da temperatura.....	65
Tabela 5- Média e desvio padrão dos cinco locais do valor diário máximo da umidade.....	69
Tabela 6- Média e desvio padrão dos cinco locais do valor diário mínimo da umidade.....	73
Tabela 7- Representação das Horas do Modelo Seco.....	74

RESUMO

FERREIRA, H. S. **Modelagem da dinâmica temporal da temperatura do ar para baixa umidade em ecossistemas amazônicos**. Cuiabá, 2018, 115f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

Nesta pesquisa, foram reunidos dados de cinco locais da Amazônia Legal: Floresta densa Amazônica (São Gabriel da Cachoeira-AM) ano de 2008, Floresta Amazônica (Rebio Jaru-RO) ano de 2008, Transição Amazônia – Cerrado (Fazenda Maracaí-MT) ano de 2002, Cerrado (Fazenda Miranda-MT) ano 2013 e Pantanal (Baía das Pedras-MT) ano de 2012 e 2013. Com objetivo estudar a dinâmica conjunta das variáveis microclimáticas temperatura do ar e umidade relativa, analisando a representatividade de um novo modelo para a dinâmica dessas variáveis para baixas umidades em ecossistemas amazônicos. Para constituir um modelo de temperatura foi considerado que a variação da temperatura está intimamente relacionada ao equilíbrio da radiação solar recebida e a radiação infravermelha de saída, como é feito no caso de vários modelos globais, uma delas é o cálculo da temperatura esperada para a superfície do planeta (Houghton, Nicolis E Prigogine, 1989). Verificou-se que a floresta densa regula melhor a temperatura, a floresta de transição apresenta maior temperatura média e, estatisticamente, Fazenda Miranda e Baía das Pedras são equivalentes. Rebio Jaru, a umidade relativa apresenta grande variação, sendo considerável que a densidade de vegetação não é tão densa como São Gabriel da Cachoeira. A taxa de aquecimento média anual nos seguintes locais, Fazenda Miranda, Baía das Pedras, Rebio Jaru e Fazenda Maracaí pode ser considerado estatisticamente em torno 1 e 1,5 °C/h. Em São Gabriel da Cachoeira a variação da taxa de aquecimento ao longo do ano é mínima, permanecendo entre 0,6 e 1,2 °C/h. Em condições de baixa umidade, o modelo proposto para a temperatura, prevê uma taxa máxima de resfriamento noturno de (-0,9° C/h) que é compatível com todos os ecossistemas.

Palavras-Chave: Microclima, Mudanças Climáticas e Séries temporais.

ABSTRACT

FERREIRA, H. S. Modeling the temporal dynamics of air temperature for low humidity in Amazonian ecosystems. Cuiabá, 2018, 115f. Thesis (Doctoral Degree in Environmental Physics) - Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso.

In this research, data were collected from five sites of the Amazon Rainforest (São Gabriel da Cachoeira-AM) in 2008, Amazon Rainforest (Rebio Jaru-RO), 2008, Transition Amazonia - Cerrado (Fazenda Maracaí-MT) year of 2002, Cerrado (Fazenda Miranda-MT) year 2013 and Pantanal (Baía das Pedras-MT) year 2012 and 2013. With the objective of studying the joint dynamics of the microclimatic variables air temperature and relative humidity, analyzing the representativeness of a new model for the dynamics of these variables for low humidity in Amazonian ecosystems. To form a model of temperature it was considered that the temperature variation is closely related to the equilibrium of the received solar radiation and the infrared radiation of exit, as is done in the case of several global models, one of them is the calculation of the expected temperature for the surface of the planet (Houghton, Nicolis E Prigogine, 1989). It was verified that the dense forest better regulates the temperature, the transition forest presents a higher average temperature and, statistically, Fazenda Miranda and Baía das Pedras are equivalent. Rebio Jaru, relative humidity presents great variation, being considerable that the density of vegetation is not as dense as São Gabriel da Cachoeira. The average annual warming rate at the following locations, Fazenda Miranda, Baía das Pedras, Rebio Jaru and Fazenda Maracaí can be considered statistically around 1 and 1.5 ° C / h. In São Gabriel da Cachoeira, the variation of the heating rate throughout the year is minimal, remaining between 0.6 and 1.2 ° C / h. In low humidity conditions, the proposed temperature model provides for a maximum overnight cooling rate of (- 0,9 ° C / h) which is compatible with all ecosystems.

Keywords: Microclimate, Climate Change and Time series.

1. INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

A natureza tem sido cada vez mais modificada em suas condições originais, devido à ação humana. As mudanças no clima, alterações no regime de chuvas e o aumento da temperatura média da Terra indicam que estamos vivendo em uma nova era, o antropoceno. Alguns pesquisadores definem o termo antropoceno como uma nova época em que estabilidade está sendo progressivamente perdida por conta dos efeitos da humanidade, tornou a principal causa de mudança no sistema planetário.

Em Mato Grosso, temos três grandes ecossistemas: Amazônia, Cerrado e Pantanal. A Amazônia contém aproximadamente 50% da biodiversidade conhecida, sendo o maior bioma de floresta úmida do mundo e o maior manancial de água doce. O uso deste bioma de maneira sustentável está ameaçado por vários fatores dos quais o desmatamento é o principal. No aspecto regional, o desmatamento altera o ciclo hidrológico, dos climas regionais, redução das chuvas, contaminação dos recursos hídricos, a perda de biodiversidade, e diminuindo a produtividade dos solos.

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, esse termo é comumente utilizado para determinar o conjunto de ecossistema (savanas, matas, campos). O clima dessa região possui um período chuvoso, no intervalo de outubro a março seguido por um período seco, de abril a setembro.

O bioma Pantanal apresenta uma dinâmica peculiar. A biodiversidade pantaneira abriga em cerca de 4.700 espécies conhecidas entre animais e plantas. Contendo uma vegetação diversificada, porém está sendo afetada pelas ações antrópicas que tem afetado significativamente a dinâmica dos ecossistemas.

Os ecossistemas citados são sistemas abertos, que se designam por trocas de fluxos de energia, matéria e momento. Com isso, as variações microclimáticas desafiam os pesquisadores a garantir a continuidade das pesquisas. Desta forma a técnica da utilização modelagem de eventos microclimáticos pode ajudar a inferir o quanto ecossistema são capazes de suportar.

1.2 JUSTIFICATIVA

Os ecossistemas são sistemas abertos, dinâmicos e complexos e o seu estudo necessita de ferramentas que sejam capazes de capturar a dinâmica das séries temporais medidas na floresta e no cerrado. Cada um dos ecossistemas estudados neste trabalho possui características próprias, com dinâmicas diferenciadas.

A vegetação do Cerrado, por englobar uma mistura de diferentes espécies, tem uma resposta diferente a mudanças nas variáveis ambientais. O clima é extremamente sazonal, com meses sem chuva e períodos de alta precipitação.

O desmatamento na Amazônia intensifica a vulnerabilidade do Bioma às mudanças climáticas e, com isso, a função reguladora do clima global, regional e local que a floresta exerce encontra-se ameaçada. Por menores que sejam as mudanças na dinâmica deste sistema, elas acabam por acarretar mudanças climáticas em escala regional ou global.

O Pantanal é de grande interesse nos estudos relacionados ao clima, devido ao seu regime de chuva e inundação que afeta de forma significativa a sua sazonalidade energética. A expansão das atividades antrópicas sobre o Pantanal nos últimos anos influencia fortemente a natureza e a vegetação local.

Desta forma é de suma importância compreender e fazer previsões da dinâmica micrometeorológicas nesses ecossistemas, na variável temperatura do ar e a umidade relativa do ar, e as suas relações diante do cenário das mudanças climáticas locais e globais a curto e longo prazos. Diante disso, foi construído um modelo de temperatura considerado que a variação da temperatura está intimamente relacionada ao equilíbrio

da radiação solar recebida e a radiação infravermelha de saída, como é feito no caso de vários modelos globais.

Dessa maneira, o objetivo geral deste trabalho é estudar a dinâmica conjunta das variáveis microclimáticas temperatura do ar e umidade relativa, analisando a representatividade de um novo modelo para a dinâmica dessas variáveis para baixas umidades em cinco diferentes locais da Região Amazônica.

Assim, tem-se como objetivos específicos:

- Caracterizar a variável temperatura do ar e umidade relativa nos locais estudados no que diz respeito às médias anuais e sazonalidade.
- Analisar a dinâmica dos valores máximos e mínimos diários da temperatura do ar e umidade relativa.
- Realizar um diagnóstico comparativo das análises acima para os diferentes locais estudados.
- Estudar a taxa de resfriamento noturno, em função da umidade relativa do ar, comparando-a com o resultado previsto pelo modelo adotado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar é a fonte de energia para todos os processos físico-químicos e biológicos que ocorrem na superfície terrestre. O Sol é considerado uma estrela de quinta grandeza, constituída por um plasma, contendo cerca de 71% de hidrogênio e 26% de hélio. Sua superfície aparente é denominada fotosfera, cujo diâmetro é aproximadamente de $1,3914 \times 10^6$ km. Possui uma massa em torno de $1,99 \times 10^{35}$ kg, da qual cerca de 90% se concentra na metade interna do seu raio.

O Sol e a Terra emitem radiação praticamente como corpos negros a temperaturas aproximadas de 5770 K e 300 K, respectivamente (VAREJÃO – SILVA, 2001). Assim, ao aplicar a lei de Wien, que define que a máxima emitância espectral de um corpo negro é inversamente proporcional a sua temperatura absoluta, pode-se observar que a radiação emitida pelo Sol tem um pico em torno de $0,5 \mu\text{m}$, enquanto aquela emitida pela Terra em torno de $10 \mu\text{m}$ e, por isso, são denominadas de radiação de onda curta (OC) e radiação de onda longa (OL), respectivamente (LIOU, 1980; VIANELO e ALVES, 2000).

Conforme a equação:

$$R_n = BOC + BOL \quad (1)$$

O saldo de radiação (R_n) da superfície é resultante do balanço entre os fluxos radiativos de onda curta e onda longa, ou seja, o balanço entre a radiação global

incidente (R_g) menos a radiação global refletida denominado albedo (α), e a radiação proveniente da atmosfera (E_a) menos aquela emitida pela superfície da Terra (E_s). O balanço de radiação das áreas naturais e agrícolas é de extrema importância nos estudos de energia regionais que ajudarão na produção e produtividade da vegetação (SOUZA e ESCOBEDO, 1997).

Equação do Balanço de Radiação:

$$R_n = R_g (1 - \alpha) + E_a - E_s \quad (2)$$

Segundo Curado (2011), os diversos constituintes da atmosfera, pode-se afirmar que o vapor d'água é um importante regulador térmico e desempenha um importante papel no sistema solo, planta e atmosfera. Sua presença é absolutamente indispensável para toda espécie de vida na Terra, pois está diretamente relacionado com os processos físicos, biológicos e fisiológicos de plantas e animais, no que se refere aos processos de trocas de energia e matéria.

2.2 BALANÇO DE ENERGIA

O balanço de energia da superfície terrestre é fundamental para todos os modelos de interação entre a superfície terrestre e a atmosfera (CULF et al., 2004), como por exemplo, para o desenvolvimento e validação de modelos numéricos e algoritmos de sensoriamento remoto (BROTZGE e CRAWFORD, 2003). De acordo com Rodrigues (2011), o balanço de energia de um sistema é uma função de cinco processos. A energia disponível ao meio, expressa o somatório do balanço de radiação de ondas curtas e ondas longas, ou seja, a radiação líquida disponível ao sistema, que é utilizada na evapotranspiração em forma de calor latente (LE), no aquecimento do ar em forma de calor sensível (H), no aquecimento do solo (G), uma pequena parte para processo fotossintéticos (P) e a que acumula no sistema (troncos, dossel e na lâmina de água) (S).

O balanço de energia, baseado no princípio físico da conservação de energia, relaciona as densidades dos fluxos de energia disponível na vegetação (radiação líquida) com a energia utilizada, principalmente do ar o calor latente na evaporação e o calor sensível nas variações de temperatura do ar e do solo (PEREIRA et.;2002).

Portanto, o balanço energético é uma aplicação da primeira lei da termodinâmica, em que deve existir uma igualdade entre o balanço de energia recebida (Energia Incidente) pelo ecossistema e a soma da energia liberada sob a forma de calor sensível e latente (Energia Emitida), e da energia armazenada pelo ecossistema, isto é, solo (G) e biomassa (ΔS) (ROBINSEN, 1996).

O solo no período diurno recebe radiação em forma de ondas curtas. Parte dessa radiação é desenvolvida ao espaço devido ao albedo. O solo irá emitir radiação longa e parte é retransmitida pelas nuvens. Quando aquecido o solo cede energia para aquecimento do ar (H), para evaporação da água (LE) e para aquecimento de camadas mais profundas do solo (G). Durante a noite, devido à ausência do Sol, a Terra continua perdendo rapidamente energia, resfriando mais que ar adjacente e a camadas mais profundas do solo.

Com isso, o balanço de energia noturno, a Terra emite radiação longa, a atmosfera emite para a Terra radiação longa refletida pelas nuvens. Como o solo está mais frio que o ar adjacente, o vapor d'água ao atingi-lo, é condensado, dessa maneira a Terra recebe calor latente (LE) de condensação (ARRUDA, 2011).

2.3 TEMPERATURA DO AR

A temperatura do ar à superfície apresenta um ciclo diário, varia entre máximo e mínimo. Em situações normais, o valor máximo ocorre cerca de duas horas depois da culminação do Sol; o mínimo acontece pouco antes do nascer do Sol. A presença dos fenômenos capazes de perturbar o estado prevalecente da atmosfera (como uma invasão de ar frio, por exemplo), pode alterar a expectativa quanto aos horários prováveis de ocorrência das temperaturas extremas (VAREJÃO, 2006).

Além disso, temperatura do ar é um dos efeitos mais importantes da radiação solar. O aquecimento da atmosfera próxima à superfície terrestre ocorre principalmente por transporte de calor, a partir do aquecimento da superfície pelos raios solares (PEREIRA et al., 2002). Vários fatores influenciam a distribuição da temperatura sobre a superfície, à distância a partir dos corpos hídricos, o relevo, a natureza dos ventos predominantes e as correntes oceânicas (AYOADE, 2007).

As variações sazonais na temperatura do ar são maiores nas áreas extratropicais, particularmente nos interiores continentais, enquanto são mais baixas em torno da faixa equatorial, particularmente nas superfícies hídricas. Portanto, podemos dizer que as variações sazonais da temperatura aumentam com a latitude e com o grau de continentalidade (AYOADE, 2007).

Portanto, temos a seguinte consideração à hora em que há maior ganho energético do Sol é justamente a hora do dia em que o Sol está a pino, ou seja, meio-dia (12 horas), quando está a pino no horizonte (fazendo zênite). Analisando os primeiros dois metros de superfícies como área de maior atividade biológica, tem-se que o horário de maior temperatura é por volta de 14 e 16 horas (TORRES e MACHADO, 2011).

Sobretudo, sabendo-se que depois do pôr do Sol a superfície perde a fonte de energia e com isso o ar começa a perder temperatura culminando nos instantes anteriores ao primeiro raio solar do outro dia, a superfície atinge sua temperatura mínima, variando o horário de acordo com a época do ano e a latitude. Esse padrão é considerado para dia normal sem influência de outros processos meteorológicos.

2.4 UMIDADE DO AR

A umidade do ar é uma variável essencial na determinação tempo e clima embora a umidade de água represente 2% da massa total da atmosfera e 4% de seu volume. Esta variável varia de regiões quase zero em áreas quentes e áridas, até um máximo de 3% nas latitudes médias e 4% nos trópicos úmidos. O termo para representar a quantidade de vapor de água presente na atmosfera é a umidade do ar.

Geralmente, o ar encontra-se com uma concentração de vapor de água menor que a de saturação. A relação porcentual entre a concentração de vapor de água existente no ar e a concentração de saturação (concentração máxima), na pressão e temperatura em que o ar se encontra, é definida como Umidade Relativa do Ar. (TUBELIS & NASCIMENTO, 1984, p. 95).

A umidade relativa é fortemente influenciada pela temperatura. Na qual o aumento da temperatura favorece a diminuição da umidade relativa.

2.5 CONCENTRAÇÃO DE ÁGUA NA ATMOSFERA

O vapor de água atmosférico é uma parte importante por interferir na dinâmica e na química da atmosfera, agindo na distribuição da temperatura, participando ativamente dos processos de absorção e emissão de calor sensível na atmosfera e por atuar na transferência de calor latente entre as regiões. Além de tudo, destaca-se sua contribuição no efeito estufa, sendo este seu principal causador. Sobretudo, é o único constituinte atmosférico que muda de estado físico, sendo responsável pela formação e evolução das nuvens e por seus fenômenos atmosféricos importantes como a precipitação, sendo ela na forma líquida ou sólida.

De acordo com Coheur et al., (2003) O vapor de água é responsável pela absorção de 50% da radiação solar atmosférica e pela maior parte da radiação infravermelha emitida pela superfície da terra, sendo o componente atmosférico mais eficaz para o efeito estufa. Dessa maneira, eventuais distúrbios na concentração de vapor de água atmosférico, pode com seu aumento contribuir na absorção da radiação solar atmosférica causando modificação no balanço e as principais reações físico-químicas existentes na atmosfera.

De outro modo, a característica importante do vapor de água atmosférico é que o mesmo apresenta respostas diretas ao aumento da temperatura, aumentando sua

concentração na atmosfera, e por consequência sua contribuição para aquecê-la, em função da intensificação do efeito estufa (RANDALL et al., 2007). A absorção da radiação de onda curta pelo vapor de água na atmosfera é aproximadamente de 5 a 10 vezes menor do que os calculados para a radiação de onda longa. Portanto, para as latitudes polares esse valor é maior, assim, a sensibilidade da radiação de ondas curtas é maior nos níveis mais baixos, onde a concentração de vapor é maior (SODEN et al., 2008).

A maior absorção é decorrente do reflexo da radiação incidente sobre a superfície coberta de neve e/ou gelo das regiões polares, o que aumenta a absorção da radiação refletindo de volta para a atmosfera. Com tudo, a radiação de onda longa tem sua maior absorção nos níveis mais alto da atmosfera. Como o aprisionamento dessa radiação está associado à intensificação do efeito estufa, o aumento de vapor de água nestes níveis apresenta-se como agravante ao efeito estufa e seus distúrbios causados no clima, o que pode ser um dos indicativos do aumento da temperatura observada no Ártico (PARMENTIER et al., 2013). As nuvens atuam para intensificar o feedback do vapor de água na atmosfera, aumentando sua absorção e o caminho óptico do espectro solar na atmosfera por meio da reflexão.

A presença de nuvens serve para aumentar a absorção de radiação em relação às condições de céu sem nuvem e ao mesmo tempo diminuir a absorção nos níveis mais baixos. A atuação do vapor de água na atmosfera vem sendo largamente estudado, sobre tudo no que diz respeito da atuação do vapor de água como feedback positivo, ou seja, sua capacidade de amplificar a ação dos gases de efeito estufa.

A ação do vapor de água como feedback positivo foi ratificada por estudos como o de Dessler et al. (2009), os quais encontraram mudanças no balanço de radiação decorrente da presença do vapor de água de $2,04 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$, entre os anos de 2003 a 2008. Este estudo mostra concordância como os de Forster e Collins (2004) e Minschwaner et al. (2006), que também ratificam a ação do vapor de água atmosférico como feedback positivo. Conforme Houghton et al. (2001), a forçante radiativa obtida pelo aumento da concentração de dióxido de carbono (CO_2) entre os anos de 1750 a 2000, foi igual a $1,5 \text{ Wm}^{-2}$. Estes resultados demonstram a importância do vapor de água na atmosfera e ressalta sua atuação no sistema climático.

2.6 CALORIMETRIA

O estudo sobre calor começou antes dos pesquisadores saberem que o calor é uma forma de energia, por isso existe uma unidade que é muito usada até hoje embora não pertença ao SI, denominada caloria (1 cal = 4,186J). Uma caloria é a quantidade de calor necessária para elevar em 1°C a temperatura de 1 grama de água de 12,5°C a 13,5°C. 1 kcal = 10³cal.

2.6.1 Fluxo Calor Sensível

É o calor que, recebido ou cedido por um corpo, provoca variação de temperatura. A equação 1 fundamental da calorimetria, que diz que a quantidade de calor sensível (Q) é igual ao produto de sua massa, da variação da temperatura e de uma constante de proporcionalidade dependente da natureza de cada corpo denominada calor específico.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (3)$$

Onde:

Q quantidade de calor sensível (cal ou J);

m - massa do corpo (g ou kg);

c - calor específico da substância que constitui o corpo (cal/g°C ou J/kg°C);

ΔT- variação da temperatura em graus Celsius (° C).

2.6.2 Capacidade Térmica (C) e Calor Específico

A capacidade térmica indica a quantidade de calor que um corpo precisa receber ou perder para variar em 1° (um grau) a sua temperatura conforme a equação 2.

Onde:

$$C = m \cdot c \quad (4)$$

C- Capacidade Térmica (cal/°C);

m- massa do corpo (g ou kg);

c- calor específico (cal/g °C ou J/kg°C).

2.6.3 Fluxo Calor Latente

Produz mudança de fase em um corpo. Consequentemente, mantém sua temperatura constante. A quantidade de calor latente (Q) é igual ao produto da massa do corpo (m) e de uma constante de proporcionalidade (L) que é chamada calor latente de mudança de fase equação 3 e se refere à quantidade de calor que 1g da substância calculada necessita para mudar de uma fase para outra.

Assim:

$$Q_L = m \cdot L \quad (5)$$

Q_L é quantidade de calor latente (cal ou J);

m- Massa do corpo (g ou kg);

L- Calor latente de mudança (cal/g).

2.7 PRECIPITAÇÃO

Em meteorologia, precipitação é usado para qualquer deposição em forma líquida ou sólida da atmosfera (AYOADE 2007). Sendo assim, refere-se às várias formas líquidas e congeladas de água, como a chuva, neves contribuem significativamente para com os totais de precipitação.

A quantidade de precipitação é expressa em espessura da camada d'água que se formaria sobre uma superfície horizontal, plana e impermeável, com 1m^2 de área. Milímetro é a unidade adotada, que corresponde à queda de um litro de água por quadrado da projeção da superfície terrestre.

$$1\text{litros}/\text{m}^2 = 1\text{dcm}^3/100\text{dcm}^2 = 0,1\text{cm} = 1\text{ mm}$$

Uma precipitação de 80 mm equivale à queda de 80 litros de água por metro quadrado de projeção do terreno (800.000litros por hectare). Sendo caracterizada por sua duração e intensidade, definida como a quantidade de água caída por unidade de tempo e usualmente expressa em mm por hora (mm h^{-1}).

2.8 CICLO DA ÁGUA

Na natureza a água pode ser encontrada em três estados físicos: sólido, líquido e gasoso, 97% de toda água se encontra nos oceanos e mares, 2,25% em forma de gelo nas geleiras e nos pólos, e 0,75% estão nos rios, lagos e lenções freáticos. A água existente na atmosfera é resultado da evapotranspiração que compreende a transpiração dos seres vivos e a evaporação da água líquida.

Dessa forma, a evaporação é o processo da água de uma superfície livre (líquida) ou úmida para atmosfera na forma de vapor. A transpiração é a evaporação da ação fisiológica dos vegetais através dos estômatos. A evapotranspiração necessita de energia para ser realizada. Pode-se afirmar que essa energia provém do Sol. A água gasosa da atmosfera se condensa pode precipitar na forma de chuva ou por um resfriamento na forma sólida.

A figura 1 ilustra o movimento da água realizada é cíclico, a água diferencia-se dos demais recursos naturais pela notável propriedade de renovar-se continuamente, graças ao ciclo hidrológico.

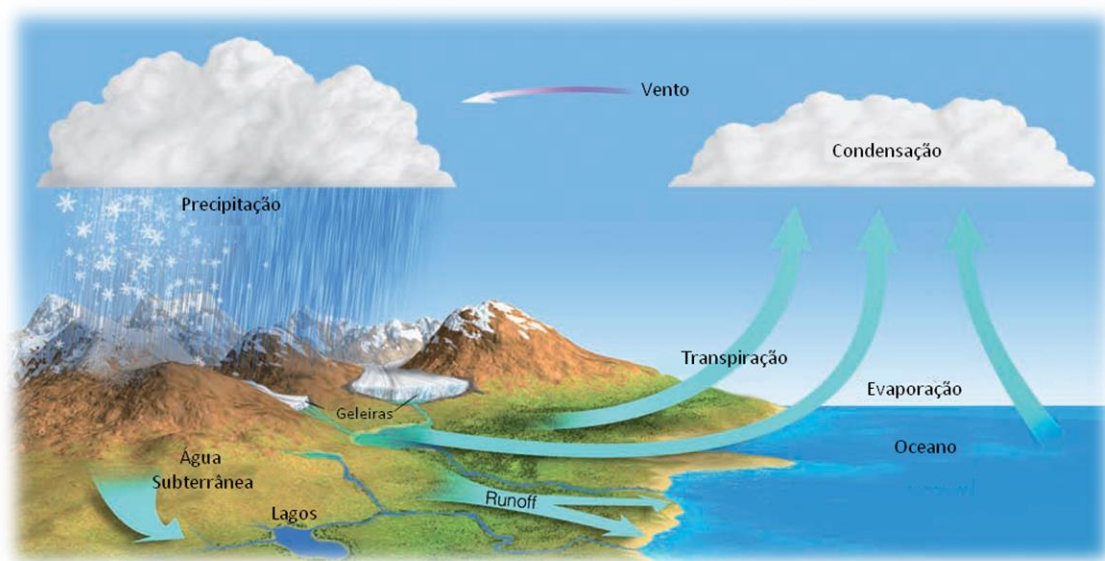


Figura 1- Diagrama do ciclo da Água.

Fonte: <http://universonerd.net/portal/ensino/dicas-e-curiosidades/aprenda-a-fazer-chuva-artificial/attachment/ciclo-da-agua-figura-2/>, acesso em 15/03/2018.

Alguns tópicos podem ser destacados de acordo com (STUDART, 2006).

1. O sol constitui-se na fonte de energia para a realização do ciclo. O calor por ele liberado atua sobre a superfície dos oceanos, rios e lagos estimulando a conversão da água do estado líquido para gasoso.

2. A ascensão do vapor da água conduz à formação de nuvens, que podem se deslocar, sob a ação do vento, para regiões continentais.

3. Sob condições favoráveis a água condensada nas nuvens precipita (sob forma de neve, granizo ou chuva), podendo ser dispersada de várias formas:

- Retenção temporária ao solo próximo de onde caiu;
- Escoamento sobre a superfície do solo ou através do solo para os rios;
- Penetração no solo profundo.

4. Atingindo os veios da água, a água prossegue seu caminho de volta ao oceano, completando o ciclo.

5. As depressões superficiais porventura existentes retêm a água precipitada temporariamente. Essa água poderá retornar para compor fases seguintes do ciclo pela evaporação e transpiração das plantas.

6. Os escoamentos superficial e subterrâneo decorrem da ação da gravidade, podendo parte desta água ser evaporada ou infiltrada antes de atingir o curso da água.

7. Atingindo os veios d'água, a água prossegue seu caminho de volta ao oceano, completando o ciclo.

8. A evaporação acompanha o ciclo hidrológico em quase todas as suas fases, seja durante a precipitação, seja durante o escoamento superficial.

Dotado de certa aleatoriedade temporal e espacial, o ciclo hidrológico configura processos bem mais complexos que os acima descritos. Uma vez que as etapas precedentes à precipitação estão dentro do escopo da meteorologia, compete ao hidrólogo conhecer principalmente as fases do ciclo que se processam sobre a superfície terrestre, quais sejam, precipitação, evaporação e transpiração, escoamento superficial e escoamento subterrâneo.

2.9 AMAZÔNIA E O CLIMA

Dentre os países a realizar a transição para uma grande potência econômica mundial sem destruir a maior parte de suas florestas tropicais está o Brasil (DAVIDSON et al., 2012). A intervenção do governo brasileiro resultou em uma expressiva diminuição no desflorestamento anual na Amazônia. Em 2004, o Brasil desmatou mais de 27.000 quilômetros quadrados, já em 2011 foram desmatados 6.200 quilômetros quadrados (redução de 77%), indicando que as taxas de desflorestamento e as emissões de carbono na região podem ser mitigadas (ARTAXO, 2012).

No entanto, o Brasil está conseguindo cumprir o compromisso voluntário que assumiu durante a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP-15, que aconteceu em Copenhague – Dinamarca, em 2009), de diminuir a emissão nacional de gases de efeito estufa em no mínimo 36,1% em relação ao que emitiria em 2020 caso não houvesse nenhum programa de redução. A taxa de diminuição alcançada entre 2005 e 2011 foi de 35%, devido principalmente à redução do desflorestamento nos biomas da Amazônia e do Cerrado (GIRARDI, 2012). Por representar a maior área de florestas tropicais da Terra (BUSTAMANTE et al., 2009) e também a maior bacia hidrográfica, responsável por 20% da descarga de água doce

(HAYHOE et al., 2011), a Região Amazônica, que ocupa 7,86 milhões de km² em nove países e cobre aproximadamente 45% da América do Sul (LUIZÃO et al., 2009).

A Floresta Amazônica de Terra Firme está implantada sobre solos bastante diversos, de fertilidade muito variável. No geral as árvores deste ecossistema são bastante elevadas, com copas sobrepostas, que determinam em sombreamento permanente do solo; a ciclagem da matéria orgânica e dos nutrientes é bem rápida e os processos de sucessão e regeneração da mata são fortemente influenciados pela capacidade das plantas se desenvolverem na sombra; o número de espécies por área é muito elevado e a dominância de determinadas espécies por área não é, via de regra elevada, destacando-se um grande número de espécies raras (SOUZA-FILHO, 2005).

Nos últimos anos, a intensa mudança na paisagem dos ecossistemas amazônicos, em razão do aumento das mudanças antropogênicas em grande escala que tiveram início na década de 60 com a abertura de eixos de penetração, como as rodovias BR 001, 364, 230 e 163 (ANDRADE, 2013). Tais eixos são vetores de colonização e de avanço das fronteiras, onde os ecossistemas naturais são transformados, sendo a conversão de florestas de dosséis fechados atribuídas a uma gama de fatores como a expansão de área de pastagem, cultivo de soja, expansão de infraestrutura e proliferação de pavimentos e estradas.

Segundo Costa et al. (2007), ao comparar as mudanças climáticas na Amazônia causadas pela expansão do cultivo de soja com as causadas pela expansão das áreas de pastagens, mostrou que o expressivo aumento do albedo em uma área com soja acarreta uma diminuição da precipitação significativamente acentuada, quando comparada às mudanças que ocorrem em uma área com pastagem.

2.10 CERRADO

A maior parte do Cerrado apresenta gradiente fitofisionômico com vegetação xeromorfa que varia de campo limpo até cerradão, embora também ocorram matas de galeria e florestas estacionais. (SILVA, 2010).

As formações estacionais ocupam 15% do bioma Cerrado, normalmente, as matas que ocorrem sob afloramento de rocha são decíduas, perdendo totalmente as

folhas na estação seca, enquanto parte das que ocorrem em solos planos e encostas são semidecíduas, mantendo cobertura de 50% aproximadamente ou mais durante a seca (MOTTA et al., 2002).

O Cerrado caracteriza-se pela presença de invernos secos e verões chuvosos, um clima classificado predominantemente como Aw, tropical chuvoso, segundo classificação climática de Köppen. A média anual de precipitação é de 1500 mm variando de 750 a 2000 mm (ADÁMOLI et al, 1987). O mecanismo atmosférico geral determina uma marcha estacional de precipitação semelhante em toda a região, criando nela uma tendência de uniformidade pluviométrica.

A caracterização de Ribeiro e Walter (2008) determina cinco tipos de variações fisionômicas para o Cerrado: Campo Limpo, Campo Sujo, Campo Cerrado, Cerrado Stricto Sensu e Cerradão.

Campo Limpo – é uma fisionomia predominantemente herbácea, com arbustos raros e ausência completa de árvores. A área restante é coberta por formas fisionômicas menos representativas, tais como, campo úmido, campo rupestre, veredas, matas ciliares, matas de galerias, entre outras.

Campo Sujo – é uma estrutura fisionômica exclusivamente herbáceo arbustivo, com arbustos esparsos e subarbustos, formados pelos tipos menos desenvolvidos no cerrado stricto sensu. A vegetação lenhosa apresenta altura média de 2 metros e cobre menos que 5%.

Campo Cerrado - é um subtipo de vegetação arbóreo-arbustiva, com cobertura arbórea na faixa de 5 a 20% e altura média de 2 a 3 metros.

Cerrado Stricto sensu - caracteriza-se pela presença de árvores baixas, tortuosas e com ramificações irregulares e retorcidas. Os arbustos são esparsos, apresentando dossel descontínuo com uma vegetação predominantemente arbustiva, cobertura arbórea de 20 a 50% e altura média de 3 a 6 metros.

Cerradão - é uma formação florestal com aspectos xeromórficos. Caracteriza-se pela presença de espécies que ocorrem no cerrado Sensu Stricto e também nas Florestas Tropicais. A copa das árvores é predominantemente contínua e a cobertura arbórea varia de 50 a 90%. A altura média do estrato arbóreo varia de 8 a 15 metros, possibilitando condições de iluminação que promovem a formação de estratos arbóreos e herbáceos diferenciados.

2.11 PANTANAL

O Pantanal é um bioma localizado na Bacia do Alto Rio Paraguai, na Região Centro-Oeste, abrangendo parte dos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul com 138.183 km² (VILA DA SILVA e ABDON, 1998), e exceto por uma faixa que adentra o Paraguai e a Bolívia, o Pantanal é quase todo restrito ao território brasileiro (IBGE, 2004). Denominado Planície do Pantanal é mais conhecida como Pantanal Mato-Grossense, suas origens estão relacionadas aos movimentos de compensação ocorridos na época da revitalização do Cordilheira dos Andes, representando a parte mais rebaixada e mais plana da bacia hidrográfica e constituindo-se na maior planície inundável do mundo (BRASIL e ALVARENGA, 1989). É a maior área alagável contínua que existe e, contrariamente a outras, caracteriza-se por ser uma planície sazonalmente inundada, sendo essas oscilações anuais do nível de água responsáveis pela regulação dos processos ecológicos ali existentes (DAMASCENO-JUNIOR et al., 2005).

Segundo Nunes da cunha e Junk (2004), cerca de 65 % das espécies arbóreas no Pantanal dependem da distribuição sazonal da disponibilidade de água, sendo que 30% estão restritas às áreas raramente alagadas e apenas 5 % vivem exclusivamente em zonas com prolongado alagamento. Com isso, o Pantanal abriga uma das mais exuberantes e diversificadas reservas naturais do planeta, com biodiversidade única. Porém, apresenta alta vulnerabilidade (OLSON et al., 1998; MORAES et al., 2000).

São observados dois regimes sazonais distintos, estação seca (abril a setembro) e estação chuvosa (outubro a março), período que concentra 80 % do total anual de chuva. O trimestre mais chuvoso é de dezembro a fevereiro, e janeiro é o mês que apresenta o maior índice pluvial. Ocorrem cheias de diferentes proporções, variáveis, dos pontos de vista interanual e intra-anual. Existem diferenças climáticas de uma sub-região para outra de acordo com a distribuição da chuva e sua intensidade (GARCIA e CASTRO, 1986; RAO et al., 1996; MORAES et al., 2000).

Com clima tropical, a região possui uma precipitação média anual entre 800 e 1200 mm e temperatura média anual do ar de 26 °C, com média da temperatura mínima de 20 °C (inverno) e média das máximas de 32 °C (verão). É possível a ocorrência de temperaturas frias próximas de 0 °C, quando da passagem de frente fria, no inverno. O

Pantanal desempenha um papel fundamental na manutenção do ciclo hidrológico e do clima de grande parte da América do Sul (RAO et al., 1996).

As inundações que anualmente ocorrem nessa planície, por atingirem grande extensão, serem de longa duração e por imprimirem modificações de vulto no meio físico, na vida silvestre e no cotidiano das populações locais, constituem o fator determinante da existência desse ecossistema (SOUZA e CUNHA, 2004). Essas características fazem com que, a cada ano, após alguns meses de chuvas, a Planície do Pantanal se transforme numa imensa área alagada, com grande parte dos biótopos terrestres passando para biótopos aquáticos (IBGE, 2004).

Nesta planície estão reunidos representantes de parte significativa da fauna brasileira, que durante o período de inundação, se deslocam para as áreas altas circunjacentes, principalmente os mamíferos e as aves, ou se refugiam nas áreas não alagadas, de onde só retornam quando a inundação termina. Ao término do período das cheias inicia-se o processo de retorno de plantas e animais em grandes bandos na busca por recursos proporcionados pela enchente (IBGE, 2004; SOUZA & CUNHA, 2004).

Em relação à ocupação do espaço, modificação da paisagem e uso do solo, o contexto regional foi composto de uma intensa ocupação humana ao longo dos últimos 30 anos sem uma política embasada em estudos científicos sobre impactos antrópicos, implicando em desflorestamento motivado pela indústria madeireira e/ou para dar lugar ao agronegócio (PICOLI, 2006). Somam-se aos principais fatores de migrações para a região os incentivos públicos para ocupação do Cerrado e Amazônia, uma diversidade de recursos naturais presentes no Centro-Oeste e Norte, o rápido desenvolvimento econômico, o clima com estações chuvosas e secas bem definidas e terras agricultáveis e baratas se comparadas com outras regiões do país (PICOLI, 2011).

Com isso, o estado de Mato Grosso o maior produtor de cereais, leguminosas e oleaginosas, respondendo por aproximadamente 25% da sua produção nacional (IBGE, 2013a), e por 27% do abate de bovinos do país juntamente com uma agroindústria em pleno crescimento (IBGE, 2013b). Neste período de ocupação, as superfícies que circundam o Pantanal tiveram grande parte da cobertura vegetal original substituída por lavouras e pastagens, num processo que tende a se acelerar e

que está repercutindo na planície com assoreamento dos rios e das superfícies mais rebaixadas (SALATI et al., 2006). Além disto, a região passou a ter os seus recursos minerais (ouro, diamante, ferro, manganês) explorados com maior intensidade, geralmente com poucos cuidados em relação à conservação ambiental (SALATI et al., 2006).

A atividade humana é de fato a causa dos maiores impactos no Pantanal, efetivado através de queimadas e emissão de gases, aumento das médias da temperatura e diminuição da umidade do ar (NOBRE et al., 1996; McCLAIN, 2002; COSTA e PIRES, 2010; LEWIS et al., 2011, LAPOLA et al, 2011), assim como o ciclo hidrológico também tem se apresentado irregular com chuvas mais intensas em períodos mais curtos, picos de 400 a 500 mm de precipitação em apenas um mês em uma região com média anual em torno de 1400 mm (HASENACK et al., 2003; VIDAL, 2009).

Os possíveis cenários das mudanças climáticas com eventos extremos tais como prolongamento das secas, intensificação das enchentes e elevação das médias das temperaturas em alguns graus, indicam que as regiões de baixa latitude podem ser as mais impactadas em relação à produção agrícola, diminuindo a oferta de alimentos e contribuindo para a queda do Produto Interno Bruto (PIB), considerando se a importância local no setor da agricultura (MOTTA et al., 2011). Recentemente, pesquisadores encontraram indícios de alteração no ciclo hidrológico do norte do Pantanal, que foi caracterizado pelo aumento dos picos de precipitação máxima, e sugerem que o ciclo está sendo afetado pelas mudanças climáticas (DINIZ et al., 2008).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAIS DE ESTUDO

O estudo foi realizado em cinco locais da Amazônia Legal conforme figura 2: Floresta densa Amazônica (São Gabriel da Cachoeira-AM) ano de 2008, Floresta Amazônica (Rebio Jaru-RO) ano de 2008, Transição Amazônia – Cerrado (Fazenda Maracaí-MT) ano de 2002, Cerrado (Fazenda Miranda-MT) ano 2013 e Pantanal (Baía das Pedras-MT) ano de 2012 e 2013.

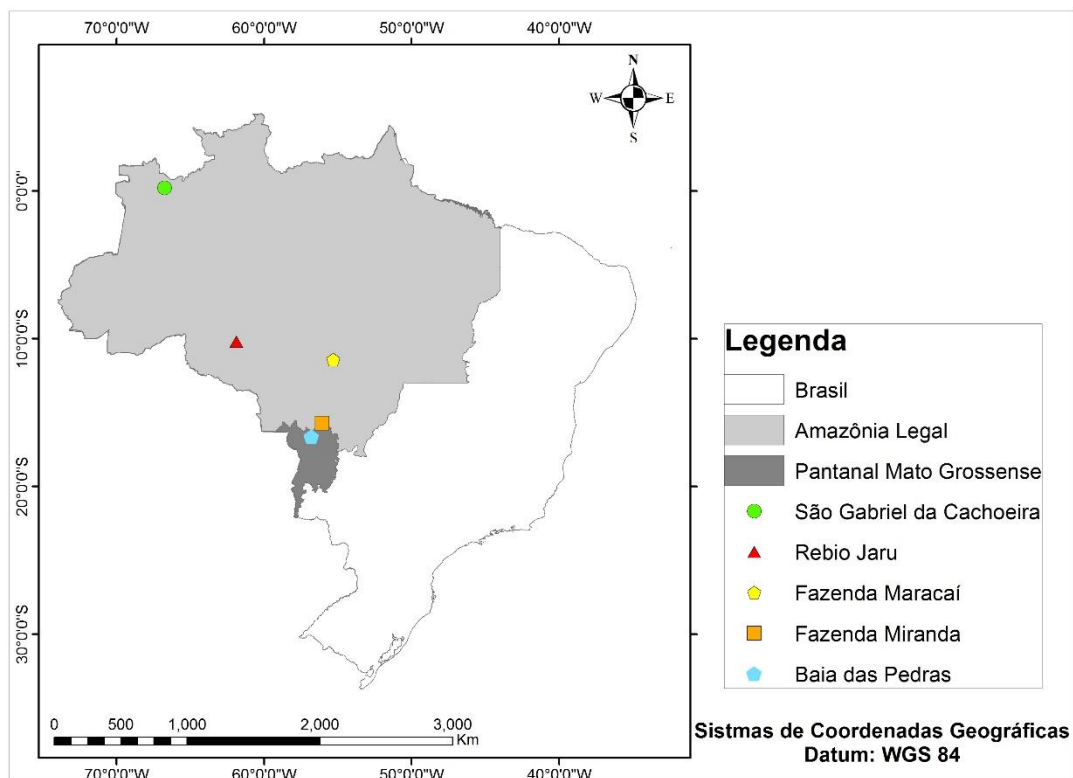


Figura 2- Localizações das áreas de estudo.

Fonte: Alves, 2018

3.1.1 SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA

O sítio experimental do programa LBA no município de São Gabriel da Cachoeira encontra-se em área de sobreposição entre o Parque Nacional do Pico da Neblina (Parna P.N.) e a Reserva indígena do Balaio. O local da torre apresenta a altitude de aproximadamente 100 m, e coordenadas de 0° 12' 36.41" Norte e 66° 45' 10.55" Oeste. O acesso à torre é feito através da estrada BR-307, onde o ponto da estrada na trilha que leva à torre fica a 64 km da cidade de S. Gabriel da Cachoeira. Da estrada até a torre, um percurso de cerca de 3 km, é feito a pé. (<http://lba2.inpa.gov.br/index.php/torres/torres-amazonas/sgc.html>).

Floresta primária de terra-firme na região do Alto Rio Negro, que apresenta elevado endemismo vegetal, classificado como Contato entre Campinarana e Floresta Ombrófila. Solos predominantes com textura franco-arenosa (latossolo vermelho amarelo distrófico). Região de alta pluviosidade.

3.1.2 REBIO JARU

O segundo local está situado na reserva Jaru (10°11'11,4"S; 61°52'29,9"W), cuja área é de floresta tropical localizada em Rondônia. A REBIO Jaru é uma unidade de conservação federal de proteção integral do bioma amazônico, criada pelo Decreto 83.716, de 11 de julho de 1979, sob a tutela do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) (AGUIAR, 2013).

A reserva engloba os municípios de Ji-Paraná, Machadinho d'Oeste e Vale do Anari e faz fronteira na porção leste com o Estado de Mato Grosso figura 5. Partes dos limites da reserva são delimitadas por rios e igarapés conforme segue: Rio Machado no limite oeste, Igarapé Água Azul no limite sul (que faz divisa com a Terra Indígena Igarapé Lourdes) e pelo Igarapé Buenos Aires ao norte (IBAMA, 2006).

REBIO Jaru apresenta índice de precipitação médio anual superior a 2000 mm (WEBLER et al., 2007), de maneira que os mais expressivos volumes de chuva são registrados no período de janeiro a abril e de outubro a dezembro, apresentando um

período de poucas ou nenhuma chuva nos meses de junho a agosto. A evapotranspiração varia de 3,2 mm d⁻¹ no período seco a 3,8 mm d⁻¹ no chuvoso (AGUIAR, 2013), temperatura do ar média na estação chuvosa é de 24,8 °C e de 26,2 °C na estação seca. Setembro foi o mês que apresentou em média os maiores valores de temperatura do ar (26,5°C) e o mês de maio, devido à ocorrência dos eventos localmente conhecidos como “friagens” e característicos dessa época do ano, apresentaram os menores valores, 23,2°C (GOMES, 2011).

O relevo é predominantemente plano-ondulado. Em decorrência das áreas onduladas, como a Serra da Providência, são abundantes os pequenos igarapés e nascentes na unidade de conservação, afluentes dos grandes rios, o que dificulta a ocorrência de incêndios na vegetação primária, por causa da alta concentração de umidade (IBAMA, 2006).

A floresta é classificada por Culf et al. (1997) como Floresta Ombrófila Aberta, possui um rico sub-bosque de palmeiras de apenas alguns metros, a altura média do dossel é de cerca de 30 m, mas algumas árvores emergentes chegam a medir 45 m (RUMMEL et al., 2002). O índice de área foliar (IAF) varia de 5 a 6 (ANDREAE et al., 2002).

De acordo com Hodnett et al. (1996), o solo da região apresenta alto teor de areia na superfície (88%) e é caracterizado como *podzólico* vermelho amarelo de textura média. Na Amazônia, os solos *podzólicos* se desenvolvem devido às intempéries nas rochas. Esses solos apresentam o horizonte da subsuperfície cinzento esbranquiçados por causa da ação dos ácidos orgânicos e são típicos de áreas úmidas (QUESADA et al., 2011).

3.1.3 FAZENDA MARACAÍ

A fazenda Maracaí está situado no município de Sinop, distante aproximadamente 560 km de Cuiabá, Capital do Estado de Mato Grosso, Brasil possui aproximadamente uma área de 20 km², localizada na região, a 60 km da cidade de Sinop, (11°24,75'S; 55°19,50'O). Está contida em uma floresta de transição entre floresta úmida e o cerrado, possui um dossel contínuo de altura entre 26m a 28m, em

terreno plano a 423m do nível do mar, pertencente à bacia do rio Teles Pires, no meio Norte de Mato Grosso.

A área de estudo é caracterizada por clima tropical úmido, com duas estações definidas, uma estação seca de junho a agosto, e uma estação chuvosa de dezembro a fevereiro, com uma temperatura média anual de 24°C e precipitação de 2000 mm/ano. (MIRANDA et al., 2004). O solo foi caracterizado como Neossolo Quartzarênio Órtico típico a moderado álico. É um solo de textura bastante arenosa com 84% areia, 4% silte, 12% argila na camada superior do solo (50 cm). Este solo tem alta porosidade e capacidade de drenagem rápida da água das chuvas que se dá entre quatro a sete dias. (PRIANTE FILHO et al., 2004).

A região Amazônica é caracterizada por apresentar clima quente e úmido, dando assim a conotação de uniformidade climática, porém apresenta na realidade, nítida variação térmica e acentuada variabilidade hídrica, está em termos espacial e temporal. A maior flutuação na radiação solar, na temperatura do ar e umidade atmosférica, está associada com o padrão das chuvas, verificando-se que por ocasião do período mais chuvoso, ocorre redução na temperatura do ar, radiação solar global, brilho solar e aumento na umidade do ar, com o oposto ocorrendo por ocasião do período de menor pluviosidade (BASTOS, 2005).

3.1.4 FAZENDA MIRANDA

O sítio experimental onde se realizou as medidas está situado na divisa da capital Cuiabá com o município de Santo Antônio de Leverger, mais precisamente na Fazenda Miranda (FM), estado de Mato Grosso - Brasil, situada a 15 km SSE Cuiabá (-15.7315° e -56.0719°) com altitude média de 157 m em uma faixa de transição entre o Cerrado e o Pantanal, com vegetação característica de Cerrado campo sujo.

O solo da área em que a pesquisa foi desenvolvida é caracterizado por ser pouco espesso, imperfeitamente drenado, concrecionário e com superfície cascalhenta, Plintossolo pétrico, podendo ocorrer locais com a presença de solos Litólicos distróficos (RADAMBRASIL, 1982). A área do estudo (Figura 3) apresenta dominância de gramíneas *Brachiaria humidicola* sp. com alguns fragmentos de

arbustos. A fitofisionomia predominante na área em que a torre micrometeorológica está instalada é de Cerrado Campo Sujo, sendo que a área foi parcialmente desmatada há aproximadamente 35 anos. A vegetação consiste predominantemente de gramíneas (64%) e espécies de árvores como *Curatella americana* L. e *Diospyros hispida* A. DC, e índice de área foliar de aproximadamente 1,5 (Vourlitis et al., 2013).

Segundo a classificação de Köppen, o clima do local de estudo é do tipo AW, também denominado Tropical semi-úmido, possui quatro a cinco meses secos e duas estações bem definidas, uma seca (outono-inverno) e uma úmida (primavera-verão). A média anual térmica e pluviométrica é de aproximadamente 26,5°C e 1420 mm, respectivamente (Vourlitis e Da Rocha, 2011).

3.1.5 BAÍA DAS PEDRAS

O quinto local da pesquisa se encontra em uma reserva natural protegida, Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do Serviço Social do Comércio (SESC) - Pantanal, a 111 m de altitude (16°39' S, 56°47' W), sendo referido como SESC Pantanal –Centro Avançado de Pesquisas do Pantanal (DALMAGRO, 2012). Está localizado a cerca de 160 km de Cuiabá – MT. O solo da região é classificado como GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico, ou seja, os solos dessa classe apresentam mudança textural abrupta com acentuada diferença de textura do A para o horizonte B imediatamente subjacente, permeabilidade lenta ou muito lenta, profundidade de 150 cm e textura arenosa (MOREIRA e VASCONCELOS, 2011).

Este local tem como característica uma área de transição de vegetação mista entre floresta monodominante e pastagem natural que está sofrendo um processo de invasão por *V. divergens* (VOURLITIS, 2011). A topografia da várzea é praticamente plana, causando grandes inundações durante a estação chuvosa (DA CUNHA E JUNK, 2000), que normalmente ocorre entre dezembro e maio, com níveis de água variando entre 1-2 m de profundidade (DA CUNHA E JUNK, 2004).

Durante a estação seca pode não haver precipitação mensurável e os recuos do nível de água ficam abaixo da superfície do solo. Na proposta de Tarifa (2011), esta área se localiza na unidade climática III E2 (III - Clima Tropical Continental Mesotérmico Subúmido das Depressões e Pantanaís do Médio Cuiabá), cuja

precipitação anual fica em torno de 1300 a 1400 mm, apresentando de 7 a 8 meses de período seco (precipitação inferior a 100 mm mensais).

Com 4.200 hectares e seis quilômetros de frente para o rio Cuiabá, o Parque SESC Baía das Pedras é uma unidade da Estância Ecológica SESC Pantanal. Concentra parte da estrutura de lazer e projetos experimentais do Projeto SESC Pantanal (**Site <http://www.sescpantanal.com.br>**).

A região Pantaneira apresenta dois regimes sazonais distintos, com épocas de secas (abril a setembro) e, a partir de outubro, épocas inundadas de acordo com a intensidade e a duração das precipitações. Os preponderantes mecanismos envolvidos no aumento de componentes químicos na atmosfera do Pantanal são as atividades antropogênicas como o desflorestamento para a prática agrícola no qual está envolvido o aumento da concentração de CO₂, na agropecuária (pastagens), na urbanização (queima de combustível fóssil veicular e emissões industriais) e as queimadas causam alterações ciclo do carbono e de nutrientes (ECK et al., 2004).

3.2 INSTRUMENTAÇÃO E MEDIDAS MICROMETEOROLÓGICAS

3.2.1 SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA

Torre metálica com 63 m de altura figura 3, instalada em outubro de 2004. Foi confeccionada em liga de alumínio estrutural anodizada, de modo a minimizar a deterioração da torre pela ação do tempo e ambiente, com sistema de pára-raios e aterramento e todos acessórios inclusos. Na plataforma superior o piso foi preparado em chapa xadrez de alumínio, cercada por guarda corpo de proteção tubular, onde foram instalados equipamentos para coletas de dados ambientais, sendo também, ponto de observação. A torre foi composta por módulos, onde cada módulo possui as seguintes dimensões: largura de 1,28m; comprimento de 1,8m e altura de 2,0; construídos com tubos redondos de alumínio. Sua finalidade é permitir a instalação de sensores e sistemas armazenamento de dados meteorológicos. (<http://lba2.inpa.gov.br/index.php/torres/torres-amazonas/sgc.html>).



Figura 3-Torre das coletas de dados São Gabriel da Cachoeira.

Fonte: <http://lba2.inpa.gov.br/index.php/torres/torres-amazonas/sgc.html>.

3.2.2 REBIO JARU

As medições do ecossistema de transição entre o bioma Cerrado e o bioma Amazônia foram realizadas por equipamentos fixados numa torre micrometeorológica com 42 metros de altura. Os sensores responsáveis pelas medidas de saldo de radiação (W m^{-2}), radiação solar (W m^{-2}), radiação fotossinteticamente ativa ou PAR ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade (%) estão listados na Tabela 1. Estes foram conectados a um sistema de aquisição de dados (Datalogger CR10X, Campbell Scientific Instrument, Utah, Inc., USA) programado para realizar leitura das medidas a cada 10 segundos e armazenar uma média a cada 30 minutos. Os dados armazenados no datalogger eram transferidos para um disco rígido de computador.

O registro das medidas diárias de precipitação foi fornecido pela estação meteorológica da Fazenda Continental, localizada a aproximadamente 17 km do local do experimento, por meio de um pluviômetro (Modelo 260-2530, Nova Lynx Corporation, USA) instalado em área de manejo florestal tabela 1.

Tabela 1- Descrição dos instrumentos e alturas de instalação, utilizados nas medidas de saldo de radiação líquida (R_n), radiação solar (R_g), radiação fotossinteticamente ativa (PAR), umidade do ar, temperatura e velocidade de fricção do ar (u^*).

Variáveis	Instrumentos	Altura (m)
R_g (Wm^{-2})	Piranômetro (LI-200SA Pyranometer Sensor, LI-COR, Inc., USA)	42
PAR($\mu molm^{-2}s^{-1}$)	Sensor quantum (LI-190SZ Quantum Sensor, LI-COR, Inc., USA)	1, 28, 42
UR (%)	Psicrômetro (HMP45C, Campbell Scientific, Inc., USA)	36, 41
T ($^{\circ}C$)	Termopar	41

Os sensores que mediram os dados de saldo de radiação e fluxo de calor no solo no ecossistema da Amazônia situado na reserva Jaru (apresentado na Figura 4b) foram acoplados a um sistema de baixa frequência de aquisição de dados (Datalogger CR10X, Campbell Scientific Instrument, Utah, USA) que armazenava os dados em um módulo de memória a cada 10 min e eram semanalmente transferidos para um disco rígido de computador no laboratório.

Detalhes sobre os sensores e as respectivas alturas de instalação na torre estão apresentados na Tabela 2. O funcionamento dos sensores e o estado de conservação foram observados sempre que eram realizadas as coletas (periodicidade semanal), de forma que constantemente foram efetivados procedimentos de limpeza, troca da sílica e eventuais reparos (AGUIAR, 2013).

Tabela 2- Relação das variáveis, dos instrumentos e das alturas dos instrumentos instalados na torre da REBIO Jaru.

Variáveis	Instrumentos	Altura (m)
Fluxo de calor latente e sensível	IRGA, Li-7500, LI-COR, USA e Solent 1012R2, GILL Instruments, UK	63,4
Saldo de radiação	Saldo radiômetro, NR-Line, Kipp e Zonen, Delft, NLD	58
Fluxo de calor no solo	Flux plates SHI, Hukseflux, NLD	-0,02

As leituras dos dados da reserva Jaru de alta frequência foram realizadas com uma frequência de 10 Hz e os dados brutos foram armazenados a cada 30 min em um microcomputador (palmtop Ipaq rx1950, HP, USA). Esses dados foram coletados semanalmente por meio da troca de um cartão de memória e processados com a rotina computacional Alteddy 3.3, desenvolvida pelo Instituto Alterra Green World Research da Holanda.

Medidas dos fluxos de calor latente e sensível em ambos os ecossistemas foram determinadas pelo método de covariância de vórtices turbulentos com o emprego de um sistema de medidas de alta frequência dos fluxos de superfície (Figura 4a), composto por um anemômetro sônico tridimensional (Solent 1012R2, Gill Instruments, UK), que mede as três componentes da velocidade do vento e a temperatura do ar e um analisador de gás por infravermelho de caminho aberto (IRGA, Li-7500, LI-COR, USA), que mede as concentrações de vapor de água e dióxido de carbono.

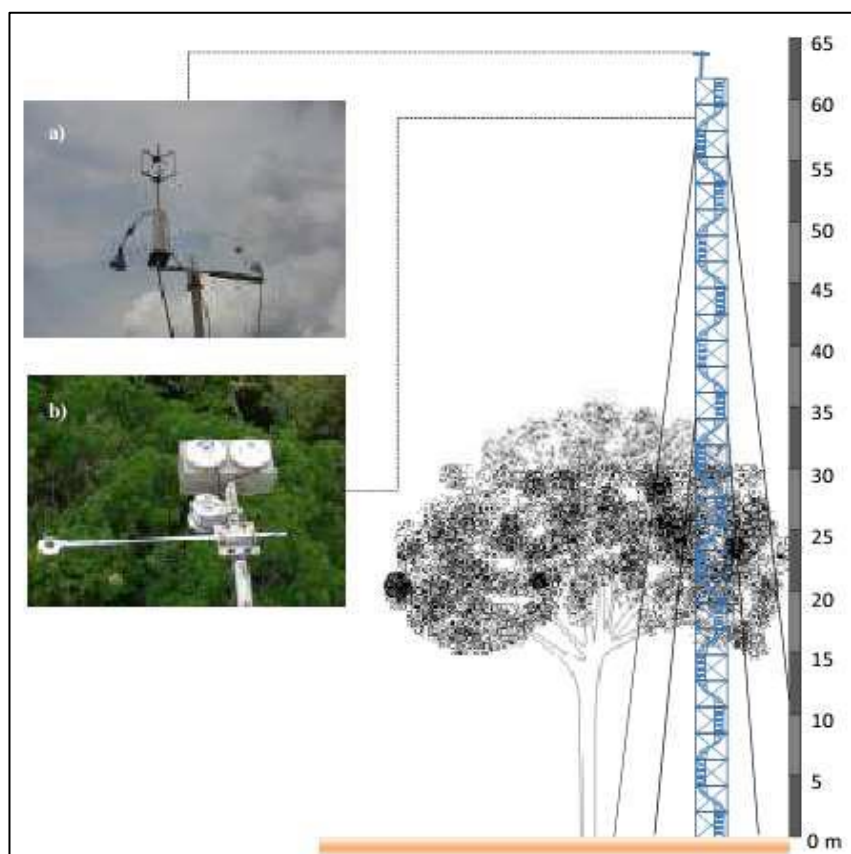


Figura 4- Disposição dos sensores instalados na torre da REBIO Jaru. a) Anemômetro sônico tridimensional à esquerda e analisador de gás por infravermelho de caminho aberto à direita. b) Sensor do saldo de radiação na ponta da haste esquerda.

Fonte: Aguiar (2012)

3.2.3 FAZENDA MARACAÍ

A coleta dos dados ocorreu em uma torre (Figura 5) na qual foi instalada sensores de correlação de vórtices turbulentos que foram montados a uma altura de 42 m acima do solo sendo aproximadamente 13m acima do dossel da floresta, onde funciona o sistema de correlação de vórtice turbulento (*eddy covariance*). Sendo a frequência de 10 HZ (0,1 em 0,1 segundos) registrando e armazenando uma média a cada 30 minutos. Os dados analisados serão de Temperatura do Ar. O tempo de coleta compreende entre o ano de 2002.

Em vários pontos da torre, foram instalados medidores de temperatura de bulbo úmido e bulbo seco, radiômetro líquido, pluviômetro sensores de chuva e

termopares para medir fluxo de calor latente. Para medir as flutuações de velocidade do vento, temperatura e vapor d'água, foram utilizados um sistema de vórtice turbulento, um sistema de anemômetro sônico em três dimensões (SWS-211/3K, *applied technologies, Inc. Boulder, Colorado*) e um analisador de gás infravermelho de caminho aberto (NOAA-ATDD, *Oak Ridge, Tennessee*).

Entre os anos de 1999 a 2005 o sistema de correlação de vórtices turbulentos era composto por um anemômetro- termômetro sônico tridimensional (SWS-211/3K, *Applid Technologies, Inc., Boulder; Colorado, E.U.A*) e por um conversor analógico/digital (datapacker). É uma técnica micrometeorológica que quantifica diretamente as trocas de massa e energia da superfície – atmosfera, pela medida do transporte turbulentos de vapor d'água e calor (VOURLITIS et al., 2002 e VOURLITIS *et al.*, 2001).

A partir de março de 2005, o sistema de correlação de vórtices turbulentos foi incrementado com a instalação do anemômetro sônico CSAT3 3-D Anemometer Sonic, Campbell, USA, e um novo Datalogger, o CR5000 Campbell, USA, dispensando a utilização de um computador portátil. Com os dados gerados criam-se planilhas do software Microsoft Excel, onde são analisados.

A instalação, a manutenção e a calibração de todos os aparelhos foram feitas pelo grupo de estudo da Física Ambiental. Dessa maneira os dados a serem analisados em planilhas eletrônicas serão os anos que se subdividirão em meses e estes em dias; os dados diários foram acumulados a cada 30 min em um datalogger, começando de 0:00 h à 23:30h.



Figura 5- Torre das coletas de dados Fazenda Macaraí.

3.2.4 FAZENDA MIRANDA

Medidas micrometeorológicas e de *eddy covariance* foram realizadas entre o período de março de 2011 e dezembro de 2012. A torre micrometeorológica figura 8 permite a coleta de dados de variáveis climatológicas (temperatura do ar, T_a ; umidade relativa do ar, UR ; velocidade do vento, U ; precipitação pluviométrica, P ; temperatura do solo, T_s ; umidade do solo (sH_2O), assim como para estimativa de densidades de fluxos de calor latente (Le), calor sensível (H), calor no solo (G), saldo de radiação (R_n) e radiação solar global (R_s).

Os sensores da torre utilizados para o objetivo da pesquisa foram três termohigrômetros modelo HMP45AC (Vaisala, Inc., Woburn, MA, USA) instalados em três alturas, a 5 m, a 10 m e a 18 m em relação ao nível do terreno. Duas placas de fluxo de calor no solo modelo HFP01-L20 (Hukseflux Thermal Sensors B.V., Delft, The Netherlands) instaladas a 1,0 cm de profundidade, uma delas colocada no solo tipo Arenoso, e a outra colocada no solo tipo Laterita, pois o solo do local é composto por esses dois tipos, e posteriormente foi feito uma média dos fluxos. Um saldo radiômetro modelo NR-LITE-L25 (Kipp & Zonen, Delft, The Netherlands) e um

piranômetro modelo LI200X (LI-COR Biosciences, Inc., Lincoln, NE, USA) instalados a 5 m de altura.

A precipitação pluviométrica (P) foi medida por meio de um pluviômetro de báscula modelo TR-525M (Texas Eletronics, Inc., Dallas, TX, USA) instalado a 5 m de altura do solo. As densidades dos fluxos de calor latente (Le) e sensível (H) foram estimadas usando o sistema de *eddy covariance*. Os sensores do sistema foram instalados a uma altura de 10 m acima do nível do terreno e 8-8,5 m acima do dossel. A direção do vento foi tipicamente NNW e NNE e a análise da velocidade do vento e abrangência das medidas da torre, de acordo com Schuepp et al. (1990), permitiu identificar que aproximadamente 90% dos fluxos são originados 1 km do local da torre.

O sistema de *eddy covariance* consiste num anemômetro-termômetro sônico 3-D (CSAT-3, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA) para medida das médias e flutuações da velocidade do vento e temperatura e um analisador de gases ao infravermelho de caminho aberto (LI-7500, LI-COR, Inc., Lincoln, NE, USA) para medida das médias e flutuações de vapor d'água. Os sensores fazem medidas e armazenam dados a 10 Hz e foram orientados na direção média do vento. As médias dos fluxos foram feitas a cada 30 min e foram armazenados e processados usando um datalogger (CR1000, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA).

As médias dos fluxos de Le e H foram obtidos calculando a covariância entre a flutuação da velocidade vertical do vento e a fração molar do vapor d'água e temperatura respectivamente, ao longo de um intervalo de 30 min seguindo uma rotação de coordenadas do vetor do vento (McMILLEN, 1988). Os fluxos de vapor d'água foram corrigidos por flutuações simultâneas de acordo com Webb et al. (1980).



Figura 6- Torre micrometeorológica instalada na Fazenda Miranda em uma região com vegetação de pastagem com características de Cerrado.

Foto: Rodrigues.T. R, 2014

3.2.5 BAÍA DAS PEDRA

No Centro de Pesquisas Avançadas do Pantanal - Baía das Pedras está instalada uma torre micrometeorológica de 28 m de altura ($16^{\circ}39'50''\text{S}$; $56^{\circ}47'50''\text{O}$, 120 m acima do nível do mar). A torre está localizada a 200 m da base de pesquisas avançadas do Pantanal, mantida pela UFMT. Figura 7, foi confeccionada em cantoneiras de ferro galvanizado, de modo a minimizar a deterioração da torre pela ação do tempo e ambiente, com sistema de para-raios e aterramento e todos acessórios inclusos.

Na plataforma superior o piso foi preparado em tela de 4 m x 4 m, cercada por guarda corpo de proteção tubular, onde foram instalados equipamentos para coletas de dados micrometeorológicos, sendo também, ponto de observação. A torre foi composta por módulos de 2 m x 2 m, com finalidade de permitir a instalação de sensores e sistemas armazenamento de dados meteorológicos.

Os dados são coletados e armazenados em Dataloggers e, transmitidos via internet para o servidor localizado no Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, com médias de 30 minutos.

Os equipamentos utilizados para medir a Temperatura do ar e Umidade Relativa foram o Termohigrômetro (HMP155A, Vaisala), instalado a 2, 5, 8, 12 e 16m, o Piranômetro (LI200X, LI-COR Biosciences, Inc., Lincoln, NE, USA) instalado a 20 m e Precipitação foi o Pluviômetro de báscula (TR-525M (Texas Eletronics, Inc., Dallas, TX, USA), instalado a 22 m.



Figura 7- Torre das coletas de dados Baía das Pedras.

Fonte: Rothmund, 2018.

3.3 Modelo da Dinâmica da Temperatura do Ar

O primeiro passo para constituir um modelo de temperatura foi considerar que a variação da temperatura está intimamente relacionada ao equilíbrio da radiação solar recebida e à radiação infravermelha de saída, como é feito no caso de vários modelos globais (Houghton, Nicolis e Prigogine, 1989; outros).

Em Nicolis e Prigogine (1989), na seção 6.5 “Modelling Climatic Variability”, é descrito como uma equação semelhante descreve o balanço global de energia. A única diferença é que o termo de ondas curtas é descrito em função do albedo global.

Nessa referência, é descrito como tal equação diferencial é eficiente para a descrição das mudanças de temperatura global numa escala de um milhão de anos. Já Houghton (2002), capítulo 1, demonstra como essa equação pode ser utilizada para o cálculo da temperatura esperada para a superfície de um planeta, considerando sua emissividade e albedo. Resultando na seguinte equação:

$$\rho_a c_a \frac{dT}{dt} = \alpha R - \varepsilon \sigma T^4 \quad (6)$$

Onde:

ρ_a é a densidade do ar (1.184 Kg / m³);

c_a é o calor específico do ar seco (1012 J / Kg°C);

R é o fluxo de radiação solar incidente (W / m²);

T (K) é a temperatura do ar;

σ (5,67 × 10⁻⁸ W m⁻² K⁻⁴) é a constante de Stefan Boltzman;

α e ε são dois parâmetros encontrados.

O termo no lado esquerdo da equação está relacionado com a variação de calor sensível, enquanto o último termo do lado direito corresponde à lei de Stefan

Boltzman. A dimensão da equação está dando em J/m^3 (densidade de energia), α e ε são dados em m^{-1} .

3.3.1 Temperatura e Radiação

Nas figuras 8 e 9, os valores experimentais de temperatura e radiação líquida são descritos. Os dados experimentais mostram que a temperatura do ar aumenta quando a radiação aumenta, mas o valor máximo das duas variáveis não é atingido na mesma hora do dia. O máximo da temperatura é atingido cerca de 2-3 p.m. (**14h e 15h**).

Enquanto a radiação tem um valor máximo ao meio-dia. Isso acontece porque o ecossistema possui uma certa capacidade térmica, o que faz com que o seu aquecimento não se der instantaneamente, mas se processe ao longo de algumas horas.

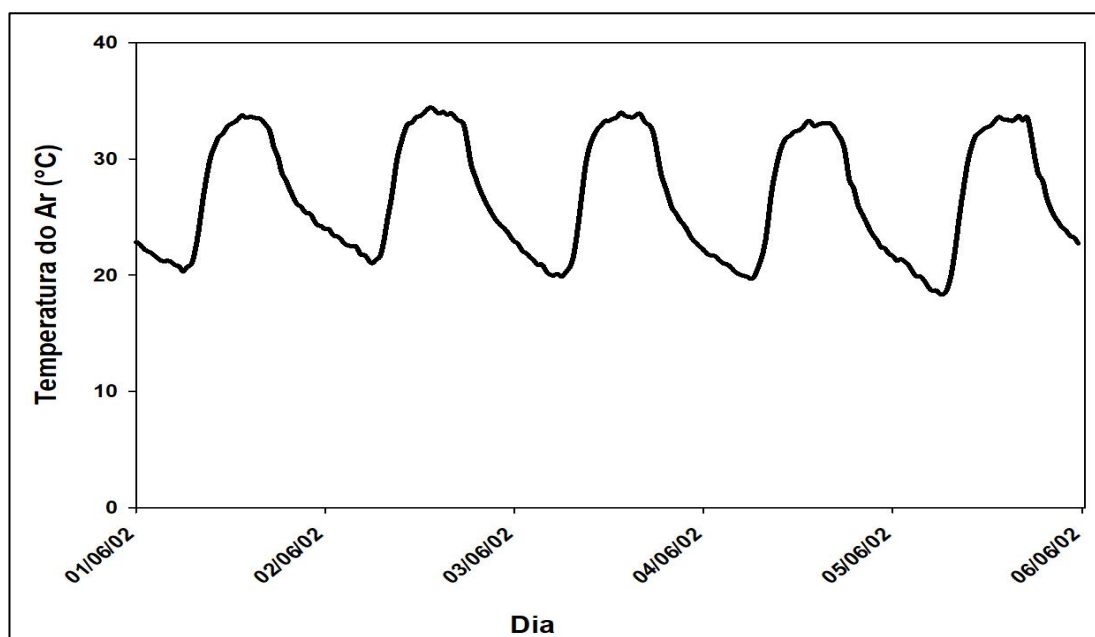


Figura 8- Valores experimentais de Temperatura do Ar medidos na Fazenda Maracáí nos primeiros cinco dias de junho de 2002.

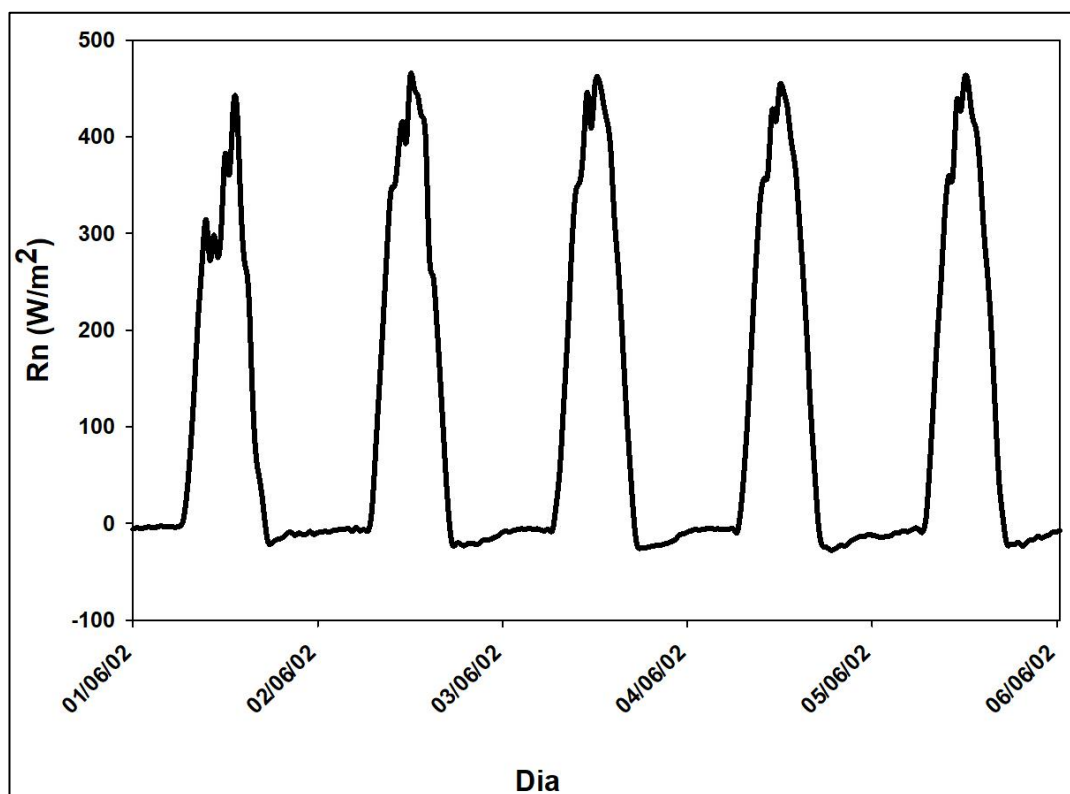


Figura 9- Valores experimentais de Radiação Líquida medidos na Fazenda Maracaí nos primeiros cinco dias de junho de 2002.

A temperatura tem valores máximos e mínimos diários, que não variam muito dia a dia, sugerindo um comportamento muito estável. Embora esse seja um fato observável, a equação 6 não é linear, sugerindo um comportamento complexo. Essa equação apresenta um ponto fixo (condição para $dT/dt = 0$) quando $\alpha R = \epsilon \sigma T^4$. No entanto, R é sempre inferior a σT^4 , mas se α e ϵ têm valores adequados, como pode parecer na figura 10, esta condição é mantida duas vezes ao dia.

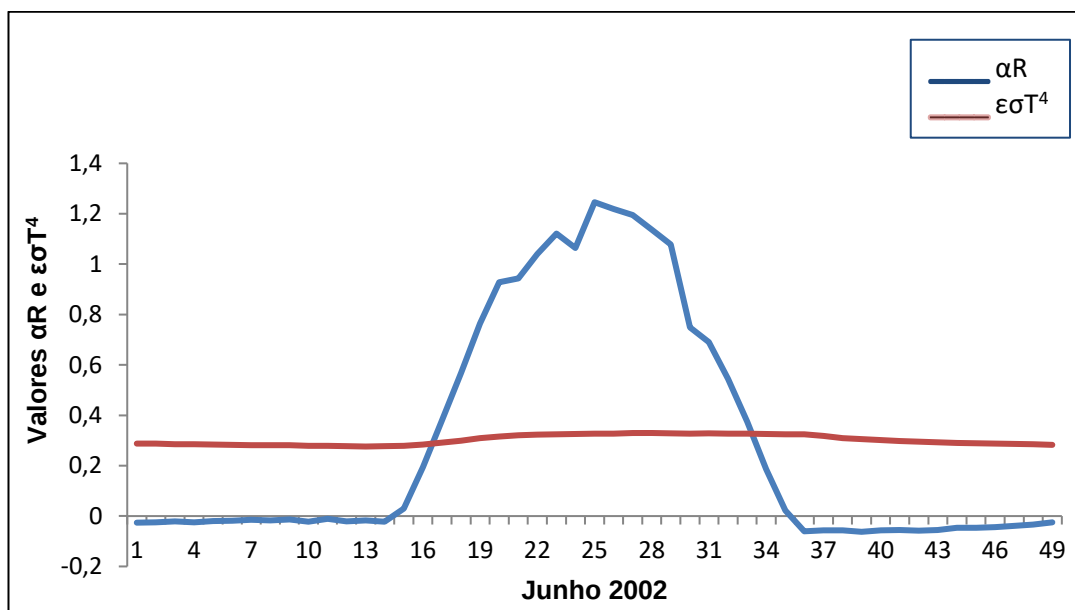


Figura 10- Comparação entre αR e $\epsilon \sigma T^4$ para Jun, 2, 2002.

Valores adequados de α e ϵ podem ser obtidos considerando que os instantes de tempo correspondentes aos valores máximo e mínimo de temperatura são iguais aos instantes de tempo quando $\alpha R = \epsilon \sigma T^4$. Deve-se fazer essa consideração, pois, para instantes de tempo anteriores do máximo de temperatura, $dT/dt > 0$, enquanto que, para instante de tempo após o máximo, $dT/dt < 0$. O mesmo raciocínio é válido para o ponto de mínimo da temperatura. Para os dados experimentais de temperatura medidos em Fazenda Maracaí em junho de 2002, esses valores são $2,7 \times 10^{-3}$ e $6,5 \times 10^{-4}$, respectivamente.

A eq. 4 pode ser compreendida da seguinte forma: a variação temporal do calor sensível no ar $\left(\rho_a c_a \frac{dT}{dt}\right)$ é resultado do balanço entre a energia cedida ao sistema pela radiação (R) incidente de ondas curtas e a radiação de ondas longas emitida pelo ecossistema: (σT^4) , onde T é dada na escala Kelvin. O modelo prevê que a energia absorvida pelo local a partir da radiação incidente é proporcional à própria radiação, onde α é a constante de proporcionalidade. Da mesma forma, prevê que a emissão é proporcional a σT^4 , com uma constante de proporcionalidade ϵ .

Devido ao fato de que a dimensão da equação é de densidade volumétrica de energia por unidade de tempo (W/m^3), as constantes α e ϵ têm dimensão de

coeficientes de extinção (m^{-1}). É importante observar, portanto, que, nessa expressão, ε não significa emissividade.

O modelo expresso na equação 6 não leva em conta qualquer efeito relacionado ao calor latente, portanto é válido somente em condições em que a umidade é baixa a tal ponto a não influenciar a termodinâmica do ar. Podemos, assim, chamar tal modelo de **Modelo Seco**.

A estimativa dos valores de α e ε neste trabalho foi utilizado dados experimentais de temperatura e radiação em condições em que a umidade era baixa. Foram utilizados dados de um mês obtidos na torre de Fazenda Maracaí, em junho de 2002. Em princípio, não havia como garantir que nesse mês podia ser garantido que a umidade relativa era baixa suficiente para que os efeitos da presença de água no local não fossem importantes para a dinâmica da temperatura. Contudo, posteriormente, pelos dados apresentados adiante, se constatou que a aproximação se mostrou válida.

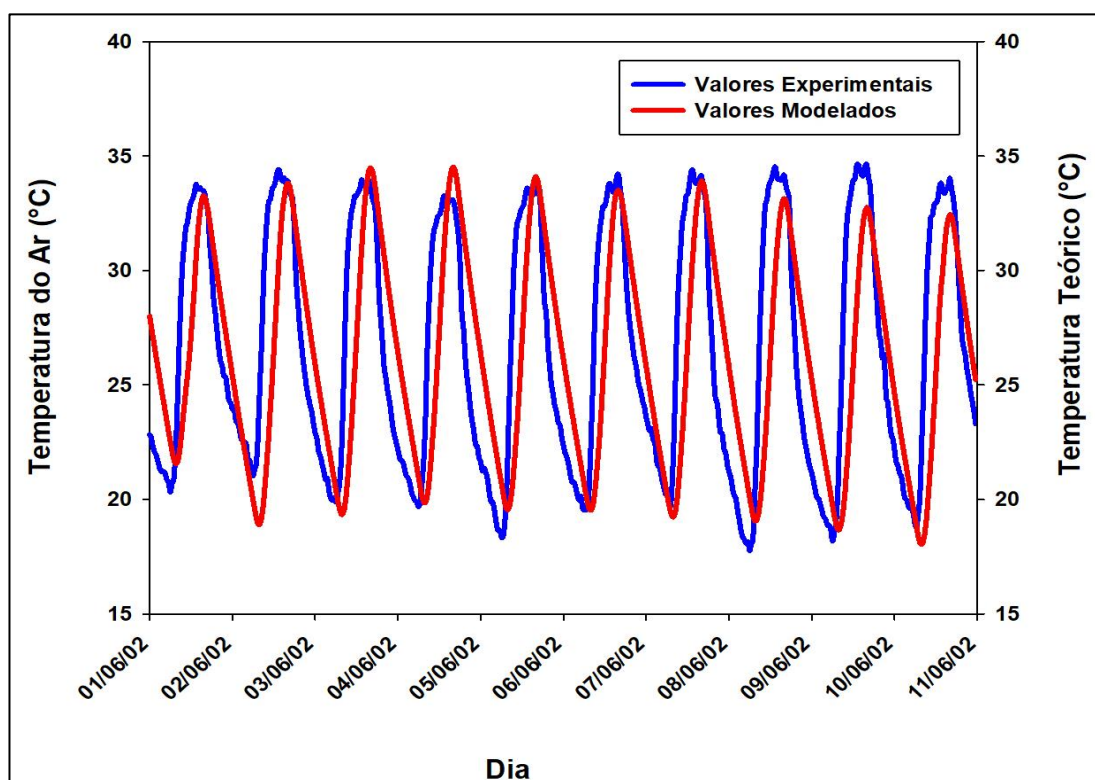


Figura 11- Valores modelados de Temperatura do Ar em comparação com os Valores Experimentais de 1 de junho a 10 de junho de 2002.

O programa foi rodado para uma série de valores de α e ε até se obter o melhor ajuste entre os dados simulados e os dados reais – que é apresentado na figura 11. Os valores correspondentes de α e ε foram, respectivamente, $2,7 \times 10^{-3}$ e $6,5 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$, ou seja, os mesmos valores correspondentes aos estados estacionários da equação.

Como pode ser visto nesta figura 11, há um padrão semelhante entre valores experimentais e teóricos. O modelo pode reproduzir a periodicidade, a amplitude da variação de temperatura e também aproximadamente os instantes de tempo em que a temperatura é máxima e mínima durante o dia. Desta forma, o modelo principal constituído pela equação pode ser considerado uma boa aproximação para dados reais.

No entanto, existem diferenças entre a temperatura real e os valores dados pelo modelo, pode-se inferir que, durante a primeira metade do dia, os valores experimentais aumentam mais rapidamente do que os teóricos e, na segunda metade do dia, os valores teóricos diminuem linearmente.

A equação 6 é uma equação diferencial não linear que não pode ser resolvida analiticamente porque R varia com o tempo, mas à noite, quando R pode ser considerado zero como boa aproximação, é possível obter uma solução analítica.

$$(\rho_a c_a) \frac{dT}{dt} = -\varepsilon \sigma T^4 \quad (7)$$

Inserindo - se temperatura e tempo em diferentes lados da igualdade, temos:

$$(\rho_a c_a) \frac{dT}{T^4} = -\varepsilon \sigma dt$$

Aplicando na forma integral (com as respectivas constantes fora das integrais):

$$(\rho_a c_a) \int_{T_0}^T \frac{dT}{T^4} = -\varepsilon \sigma \int_0^t dt$$

Resolvendo-se as integrais:

$$\frac{1}{3}(\rho_a c_a) \left\{ \frac{1}{T^3} - \frac{1}{T_0^3} \right\} = \varepsilon \sigma t$$

Assim, isolando-se T, chega-se à expressão:

$$T(t) = \sqrt[3]{\frac{\rho_a c_a T_0^3}{3\varepsilon \sigma t T_0^3 + \rho_a c_a}} \quad (8)$$

Onde T_0 é a temperatura no início da noite, t é o tempo contado a partir do instante em que a temperatura é T_0 . O perfil da temperatura em função do tempo de acordo com a equação 8 é mostrado na figura 12. Apesar da natureza não linear da equação, o comportamento da temperatura no intervalo entre **20 a 40°C** é quase linear, correspondendo a uma taxa de resfriamento de cerca de **0,9°C / hora**, para $\varepsilon = 6.5 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$. Apesar de que o tempo está numa raiz cúbica na equação, tal comportamento linear pode ser atribuído ao fato de que o intervalo de **20 a 40°C** representa uma variação muito pequena na escala absoluta de temperatura. Assim, se for feita uma expansão em série da expressão, somente o termo linear será significativo.

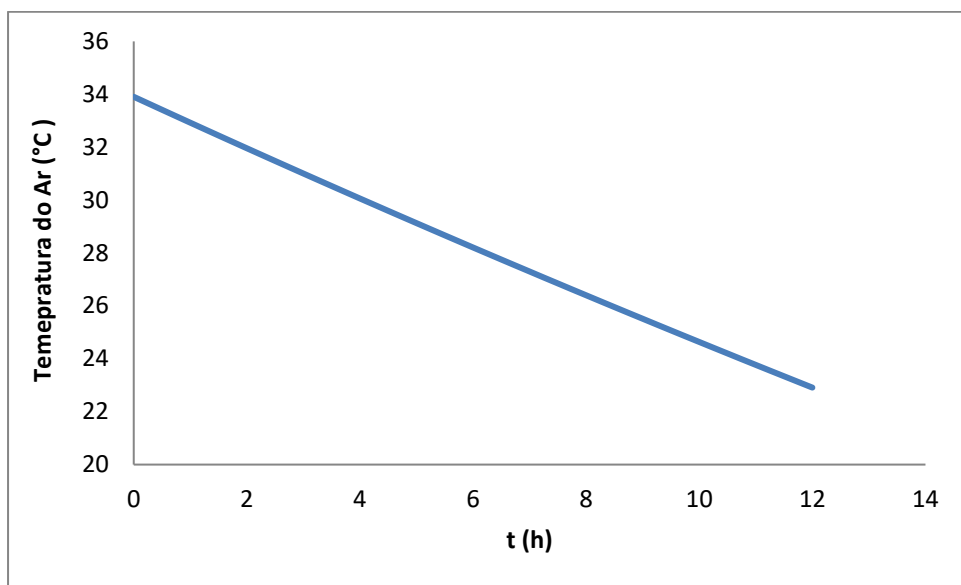


Figura 12- Temperatura prevista pelo modelo seco durante a noite.

No entanto, comparando esse resultado com os dados experimentais Figura. 11, verifica-se, que a temperatura real diminui mais rapidamente comparada com a taxa de resfriamento no início da noite.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro passo para a compreensão da dinâmica da temperatura do ar e umidade relativa nos locais estudados foi a análise dos valores médios dessas variáveis na primeira metade do período diurno (quando a temperatura se eleva em função da radiação solar) e no período noturno (quando há resfriamento devido à emissão de radiação infravermelha).

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA DA TEMPERATURA DO AR E UMIDADE RELATIVA NOS LOCAIS ESTUDADOS

4.1.1 Temperatura Média Anual na Primeira Metade do Período Diurno

Para o estudo da dinâmica diurna da temperatura do ar, selecionou-se dados dessa variável correspondentes aos instantes de tempo durante um ano dos seguintes locais: Fazenda Miranda-MT (2013), Baía das Pedras-MT (2012 e 2013), Rebio Jaru-RO (2008), São Gabriel Cachoeira -AM (2008) e Fazenda Maracaí-MT (2002). Entre 8h 30min às 12h, nesse horário a temperatura se eleva em função da radiação solar. Os resultados são apresentados na figura 13.

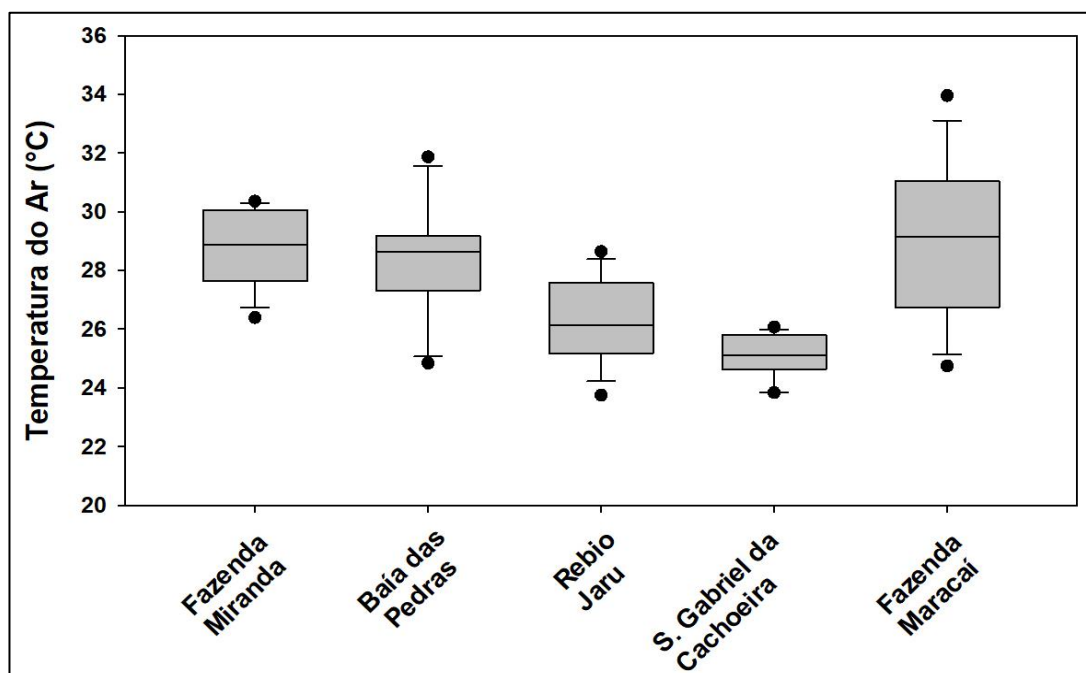


Figura 13- Média anual da temperatura do ar das 8h30min às 12h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

De acordo com a figura 13 fica evidente que S. Gabriel da Cachoeira regula melhor a temperatura do ar. Fazenda Maracá apresenta maior temperatura média tendo em vista um gradiente maior, talvez pela sua particularidade por ser uma floresta em transição. Estatisticamente Fazenda Miranda e Baía das Pedras são iguais, porque os seus valores médios se inteseptam dentro de um desvio-padrão. Baía das Pedras possui uma menor variação devido período de cheia (a alta capacidade térmica da água faz com que a temperatura varie menos). Durante o dia água presente no ar recebe calor a noite libera calor. Rebio Jaru e S. Gabriel da Cachoeira duas regiões distintas da Amazônia apresentam uma temperatura diurna média em torno de 26°C para Rebio Jaru e S. Gabriel da Cachoeira abaixo dos 26°C.

A mesma análise foi feita para dados de temperatura do ar no período noturno (das 19h às 5h do dia subsequente), conforme pode ser observado na figura 14.

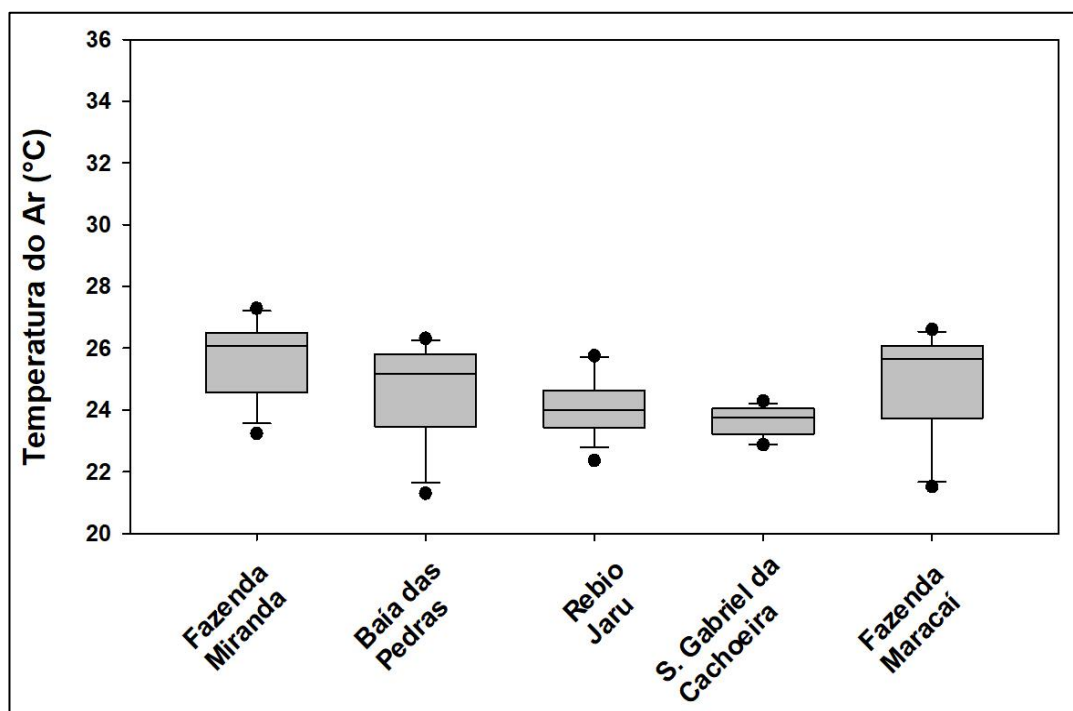


Figura 14- Média anual da temperatura do ar das 19h às 5h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jarú (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

Observa-se pela figura 14, que em Fazenda Miranda, Baía das Pedras e Fazenda Maracá a variação da temperatura é maior, em S. Gabriel da Cachoeira, durante noite a floresta, a maior concentração de água é determinante no valor menor da variação da temperatura. Assim, os dados novamente indicam que a água é eficiente termorregulador.

Para investigar a dinâmica diurna da umidade relativa, selecionou-se dados dessa variável correspondentes aos instantes de tempo entre 8h 30min às 12h, durante um ano, calculando-se as médias correspondentes. Os resultados são apresentados nas figura15.

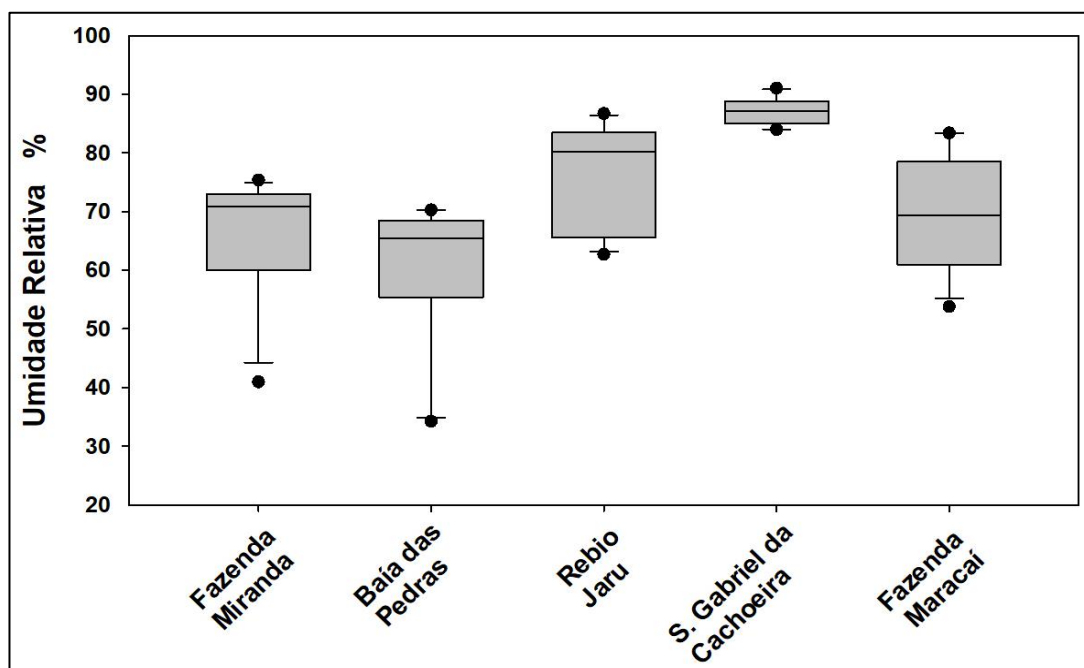


Figura 15- Média Anual da umidade relativa das 08h30min às 12h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

É possível observar na figura 15, em S. Gabriel da Cachoeira, a umidade relativa é alta com pequena variação em Rebio Jaru a variação da umidade relativa é maior, sendo considerável devido ao fato de que a densidade de vegetação não é tão densa como em S. Gabriel da Cachoeira, sentindo mais a seca. Os demais locais são estatisticamente semelhantes a Rebio Jaru, de forma que, do ponto de vista dos valores de umidade relativa, S. Gabriel da Cachoeira se distingue dos demais.

A observação foi feita para dados de umidade relativa no período noturno (das 19h às 5h do dia subsequente), conforme pode ser visto na figura 16.

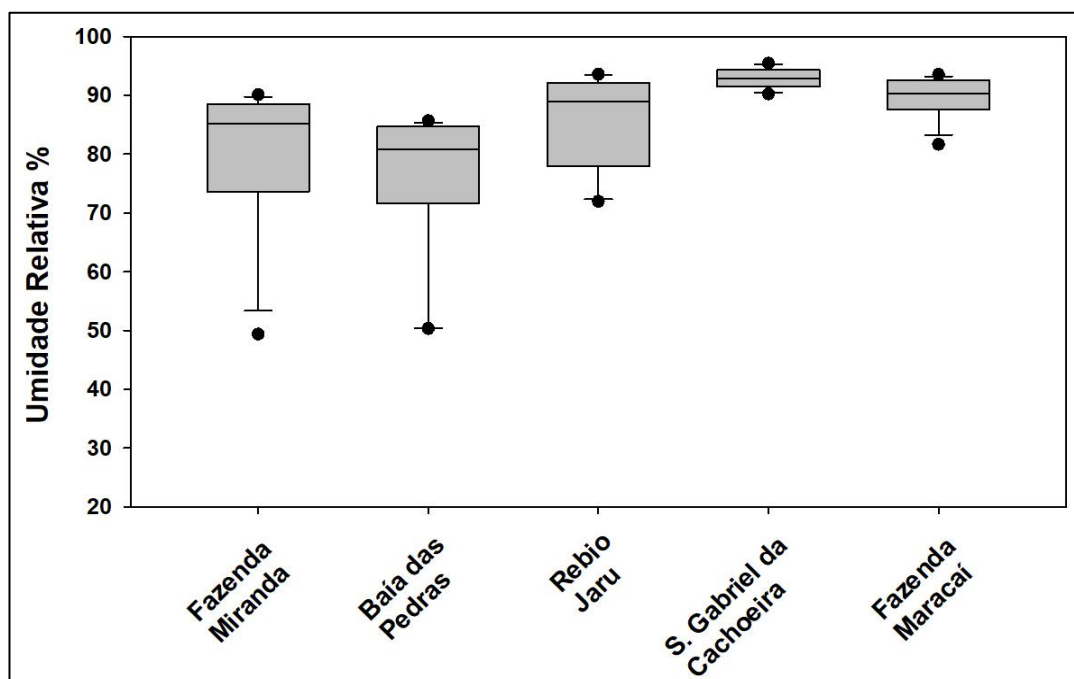


Figura 16- Média anual da umidade relativa das 19h às 5h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

Verifica-se, na figura 16, que o Baía das Pedras apresenta uma média ligeiramente menor durante o dia e noite. Em Rebio Jaru e Fazenda Miranda, durante o dia, há uma variação maior que a noite, conforme o esperado, corroborando a ideia de que a presença de água tem um papel regulador sobre as variáveis microclimáticas. O sistema mais regulador é o S. Gabriel da Cachoeira, com uma alta umidade relativa o ano todo, o que leva a uma menor variação.

Posteriormente, fez-se a mesma análise para a taxa de aquecimento do ar (calculada pela diferença de temperatura entre duas medidas consecutivas divididas pela diferença de tempo), na primeira metade do dia (figura 17), bem como da taxa de resfriamento noturno (figura 18).

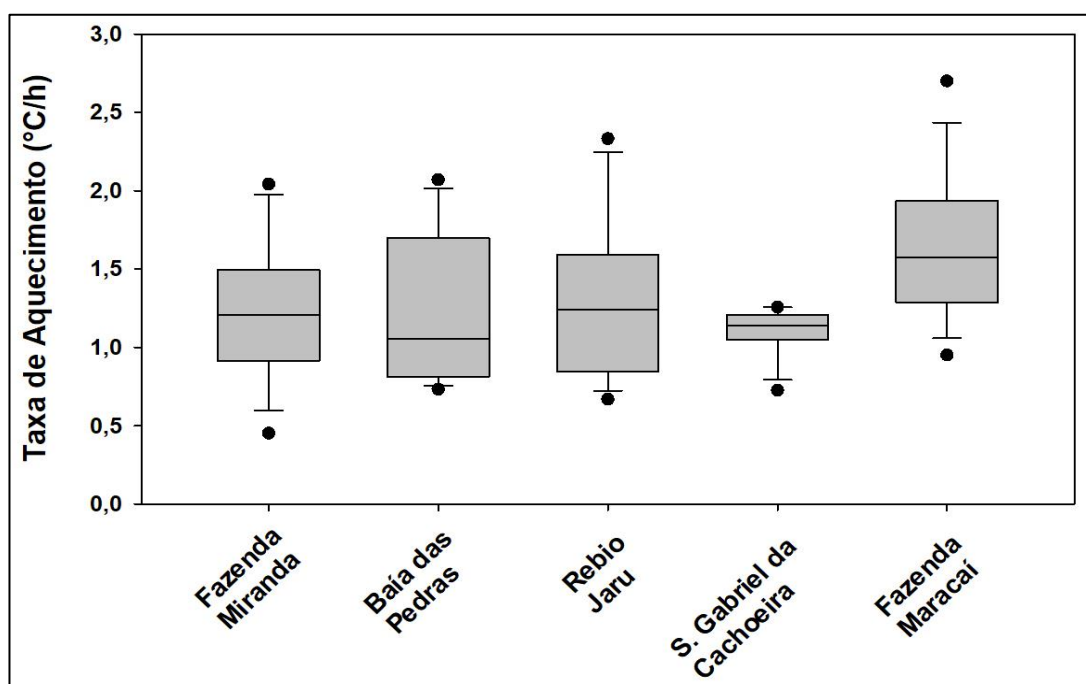


Figura 17- Valor médio da Taxa de Aquecimento ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$) das 08h30min às 12h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

Nota-se na figura 17, diuturnamente a taxa de aquecimentos nos locais Fazenda Miranda, Baías das Pedras, Rebio Jaru e Fazenda Maracá podem ser considerado estatisticamente em **torno 1 e 1,5 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$** . Em S. Gabriel da Cachoeira a variação é mínima. Fazenda Maracá apresenta um comportamento peculiar em que a variação temperatura é maior que os demais locais.

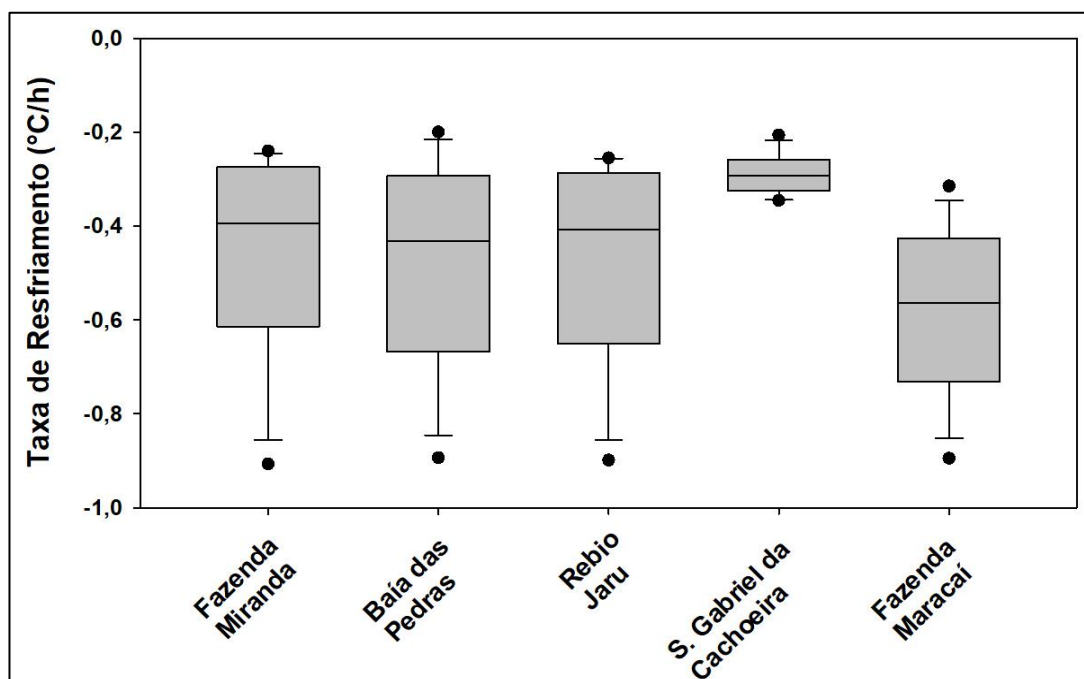


Figura 18- Valor médio Taxa de Resfriamento ($^{\circ}\text{C/h}$) das 19h às 5h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

Observa-se que os valores da taxa média de resfriamento são semelhantes para os locais, com exceção de S. Gabriel da Cachoeira cuja média é significativamente maior (menor em módulo) que a dos outros locais e apresenta menor desvio-padrão de acordo com a tabela 3. Verifica-se, portanto, que, nos locais mais úmidos, como S. Gabriel da Cachoeira, a variação do resfriamento é menor. Outro ponto importante é que o valor extremo inferior da taxa de resfriamento é igual em quatro locais e corresponde ao resfriamento máximo ($-0,9^{\circ}\text{C/h}$) previsto pelo modelo “seco” (equação 6).

Tal coerência é compatível com a ideia de que os quatro locais (Fazenda Miranda, Baía das Pedras, Rebio Jaru e Fazenda Maracá) experimentam períodos de seca, caracterizados por baixa umidade, nos quais a taxa de resfriamento torna-se mais intensa, o que não ocorre em S. Gabriel da Cachoeira.

4.2 SAZONALIDADE

4.2.1 Sazonalidade da Temperatura do Ar

Para o estudo da sazonalidade diurna da temperatura do Ar, selecionaram-se dados dessa variável correspondentes aos instantes de tempo entre 8h 30min às 12h e 19h às 5h, durante um ano, calculando-se as médias correspondentes. Os resultados são apresentados nas figuras 19 e 20.

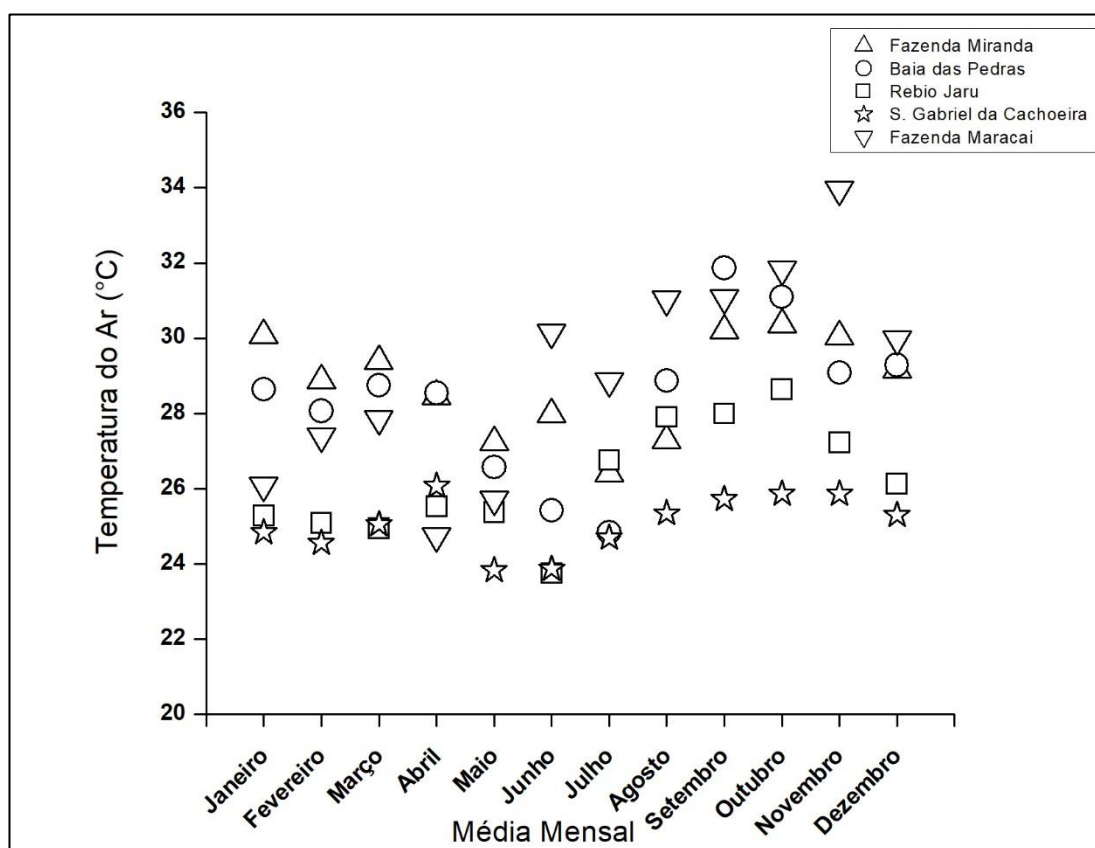


Figura 19- Média mensal referente a horas do dia das 08h30min às 12h da Temperatura do Ar, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

Na figura 19, observa-se que, em todos os locais a temperatura média aumenta a partir de um valor mínimo no meio do ano (inverno). Tal aumento na temperatura ocorre no período de seca, até atingir valores máximos nos meses de setembro e outubro. É importante destacar que o máximo do valor médio de temperatura nesse

período não pode ser explicado pela radiação, pois o máximo de radiação se dá no solstício de verão. Há que se destacar, também, que, diferentemente dos outros locais, na floresta densa de São Gabriel da Cachoeira, a variação e os valores médios de temperatura do ar são menores que dos demais locais.

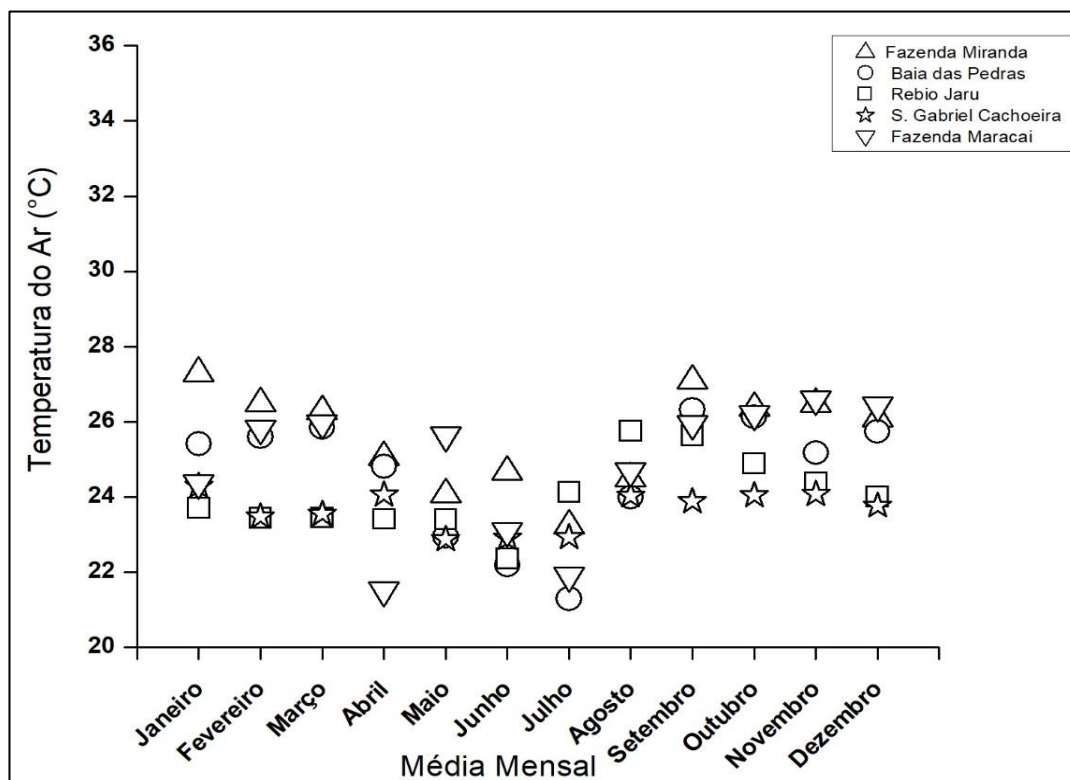


Figura 20- Média mensal da Temperatura do Ar referente a horas da noite, 19h às 5h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

Percebe-se na figura 20, que a variação da temperatura é maior em Fazenda Miranda, Baía das Pedras e Fazenda Maracá. Contudo verifica que, em São Gabriel da Cachoeira, por ser floresta densa, não apresenta uma grande variação na temperatura, sendo eficiente termorregulador.

Dando continuidade na análise da sazonalidade, foi verificada a dinâmica da variável umidade relativa, com instantes de tempo correspondentes entre 8h 30min às 12h e 19h às 5h, durante um ano, calculando-se as médias correspondentes. Sendo apresentados os seguintes resultados conforme a figura 21 e 22.

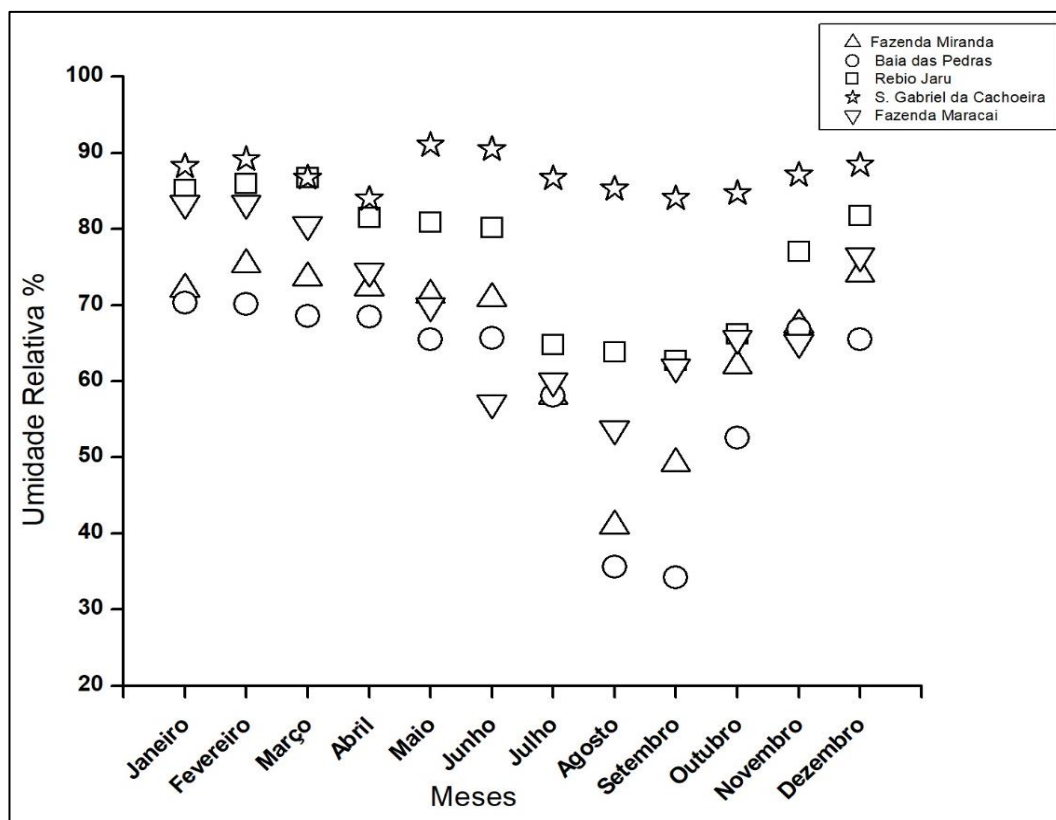


Figura 21- Média mensal da Umidade Relativa referente a horas do dia 08h30min às 12h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

É evidente, na figura 21, que em São Gabriel da Cachoeira a umidade relativa é alta nos meses maio e junho com pequena variação nos outros meses. Em Rebio Jaru a variação da umidade relativa é grande. Baía das Pedras, Fazenda Miranda e Fazenda Maracá são estatisticamente semelhantes a Rebio Jaru de acordo com a figura 15.

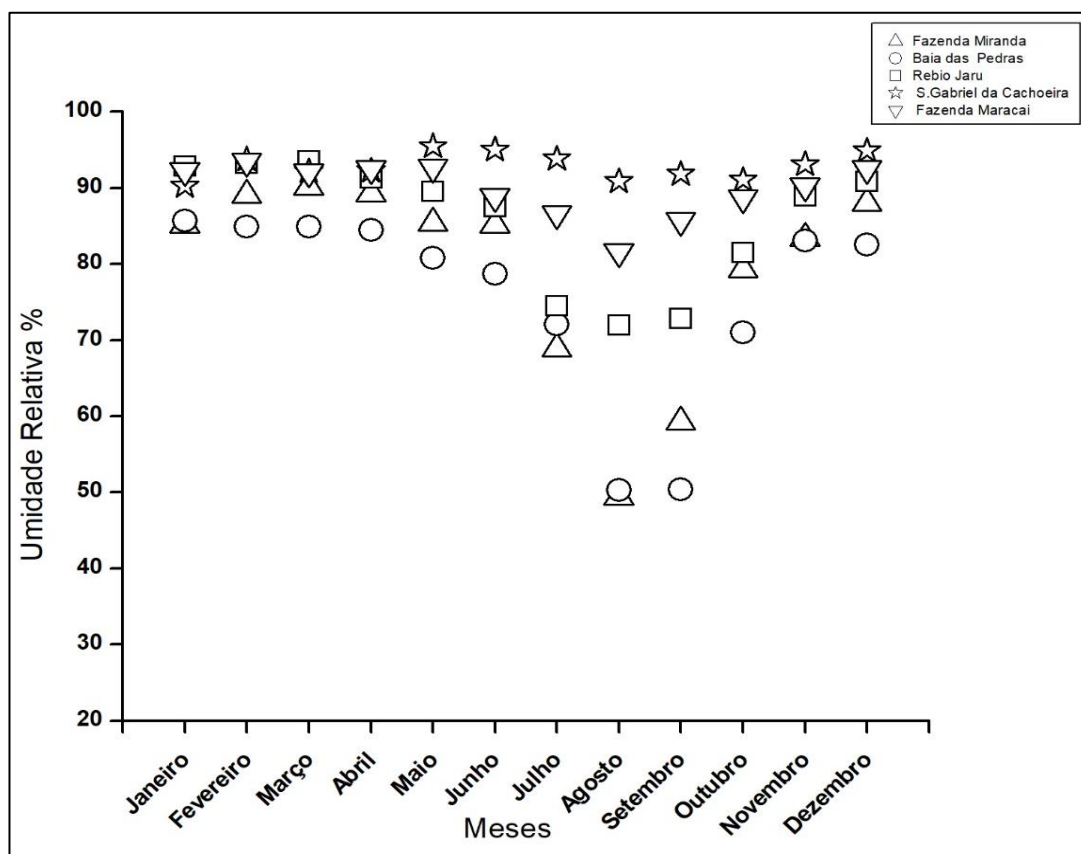


Figura 22 Média Mensal Referente a horas do dia 19h às 5h da Umidade Relativa, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

Na figura 22, Baía das Pedras apresenta média mensal de umidade relativa menor nesse período noturno. Em Rebio Jaru e Fazenda Maracá durante a noite a variação é menor, confirmando a importância da presença da água no papel regulador nas variáveis microclimáticas. Verifica-se, em S. Gabriel da Cachoeira, uma alta umidade relativa o ano todo.

Fez-se a mesma análise para a taxa de aquecimento do ar (calculada pela diferença de temperatura do ar entre duas medidas consecutivas divididas pela diferença de tempo), na primeira metade do dia (figura 23), bem como da taxa de resfriamento noturno (figura 24).

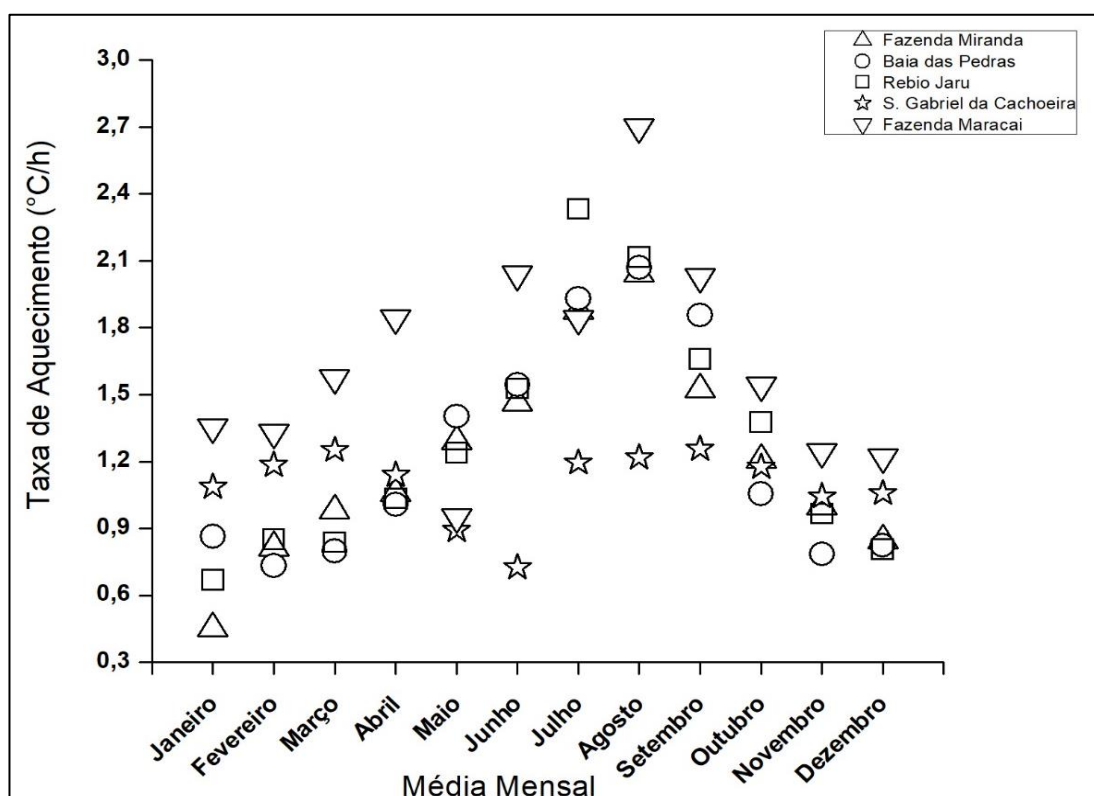


Figura 23- Valor médio Taxa de Aquecimento (°C/h) entre 08h30min e 12h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

Diuturnamente na figura 23, a taxa de aquecimento média anual nos locais Fazenda Miranda, Baía das Pedras, Rebio Jaru e Fazenda Maracá podem ser considerados estatisticamente em torno 1 e 1,5 °C/h. Em São Gabriel da Cachoeira a variação da taxa de aquecimento ao longo do ano é mínima, permanecendo entre 0,6 e 1,2 °C/h. Os dados de Fazenda Maracá possivelmente correspondem a um ano peculiar em que a variação temperatura é maior que os demais locais.

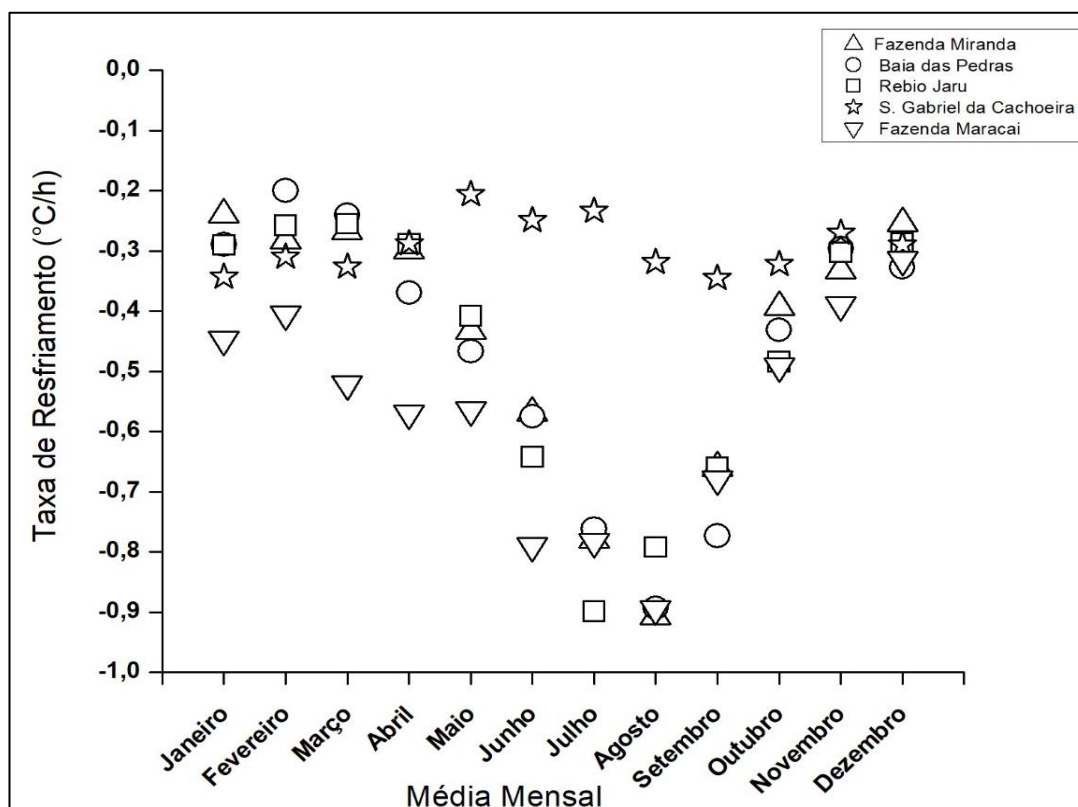


Figura 24- Valor Médio Taxa de Resfriamento (°C/h) entre 19h e 5h, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

Nota-se, na figura 24, que os valores da taxa média de resfriamento são equivalentes entre Fazenda Miranda, Baía das Pedras, Rebio Jaru e Fazenda Maracá. O valor correspondente ao resfriamento máximo ($- 0,9^{\circ} \text{C/h}$), observado nessa figura, de acordo com o previsto pelo modelo “seco” (equação 6), com exceção de S. Gabriel da Cachoeira. Em locais mais úmido como S. Gabriel a taxa de resfriamento é menor, justamente porque a umidade relativa deve desempenhar um papel importante nesse processo.

4.3 DINÂMICA DOS VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS DA TEMPERATURA DO AR E UMIDADE RELATIVA

4.3.1 Caracterização da Temperatura Máxima Diária

Com o intuito de realizar uma análise comparativa da dinâmica das variáveis nos cinco locais analisados, verificou-se em que instante de tempo durante o dia a temperatura do ar dos locais atingiu o valor máximo. Essa informação é importante na caracterização termodinâmica dos locais, em função da capacidade calorífica do meio, o que pode ser inferido da equação 6. A figura 25 apresenta os valores do instante de tempo (hora fracionada) em que a temperatura é máxima ao longo de cada dia do ano correspondente analisado.

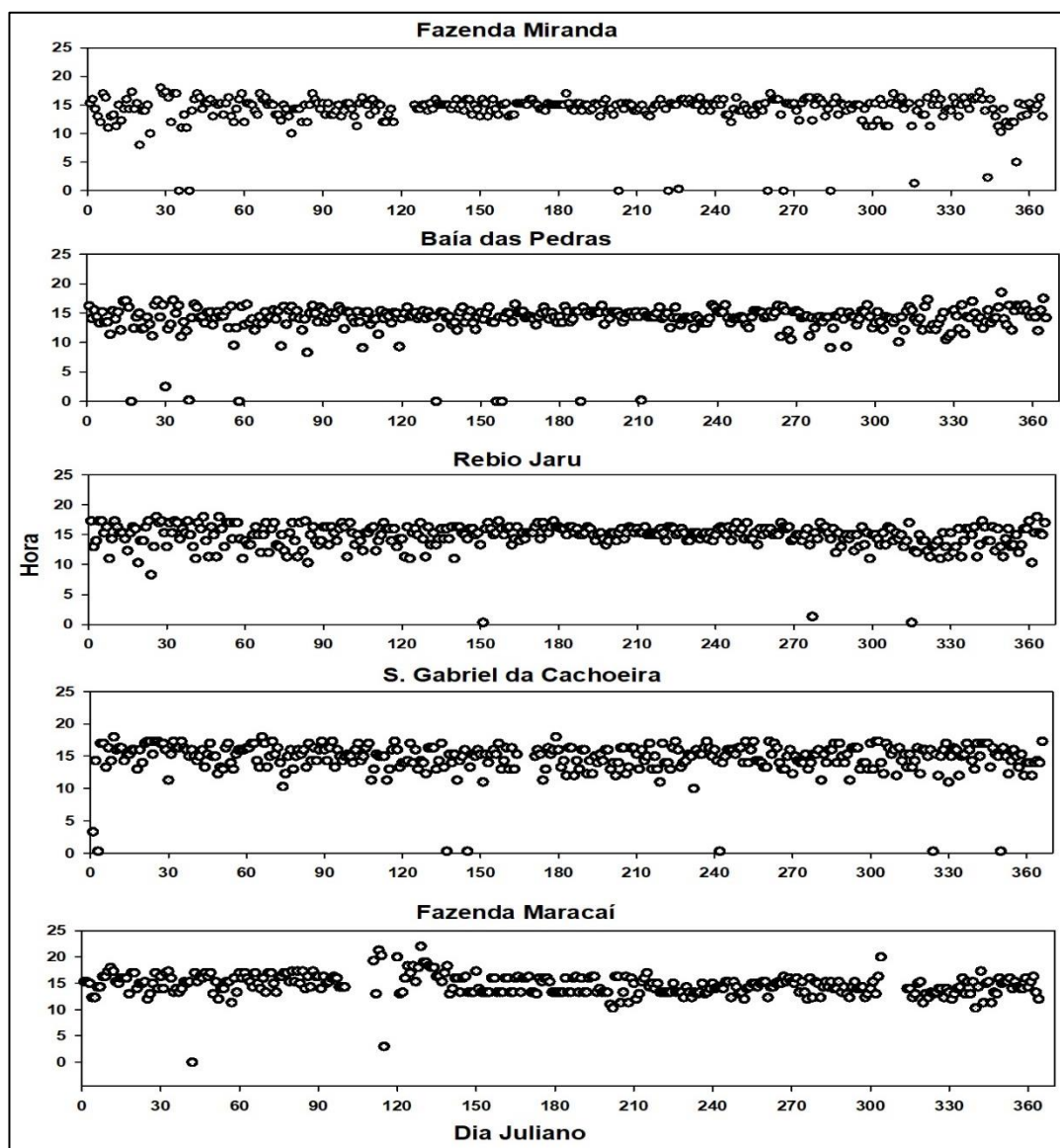


Figura 25- Valor diário da Hora Fracionada em que a Temperatura do Ar atinge o valor máximo diário, em função do Dia Juliano, nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

O que se infere dessa figura 25 é que o instante de tempo em que a temperatura é máxima se dá em torno das 15h, ao longo de todo o ano, em todos os locais. Observa-se uma maior dispersão desse valor na estação chuvosa, notadamente em Fazenda Miranda, Baía das Pedras e Rebio Jaru.

Outro aspecto analisado foi o maior valor diário da temperatura observado nos locais (figura 26).

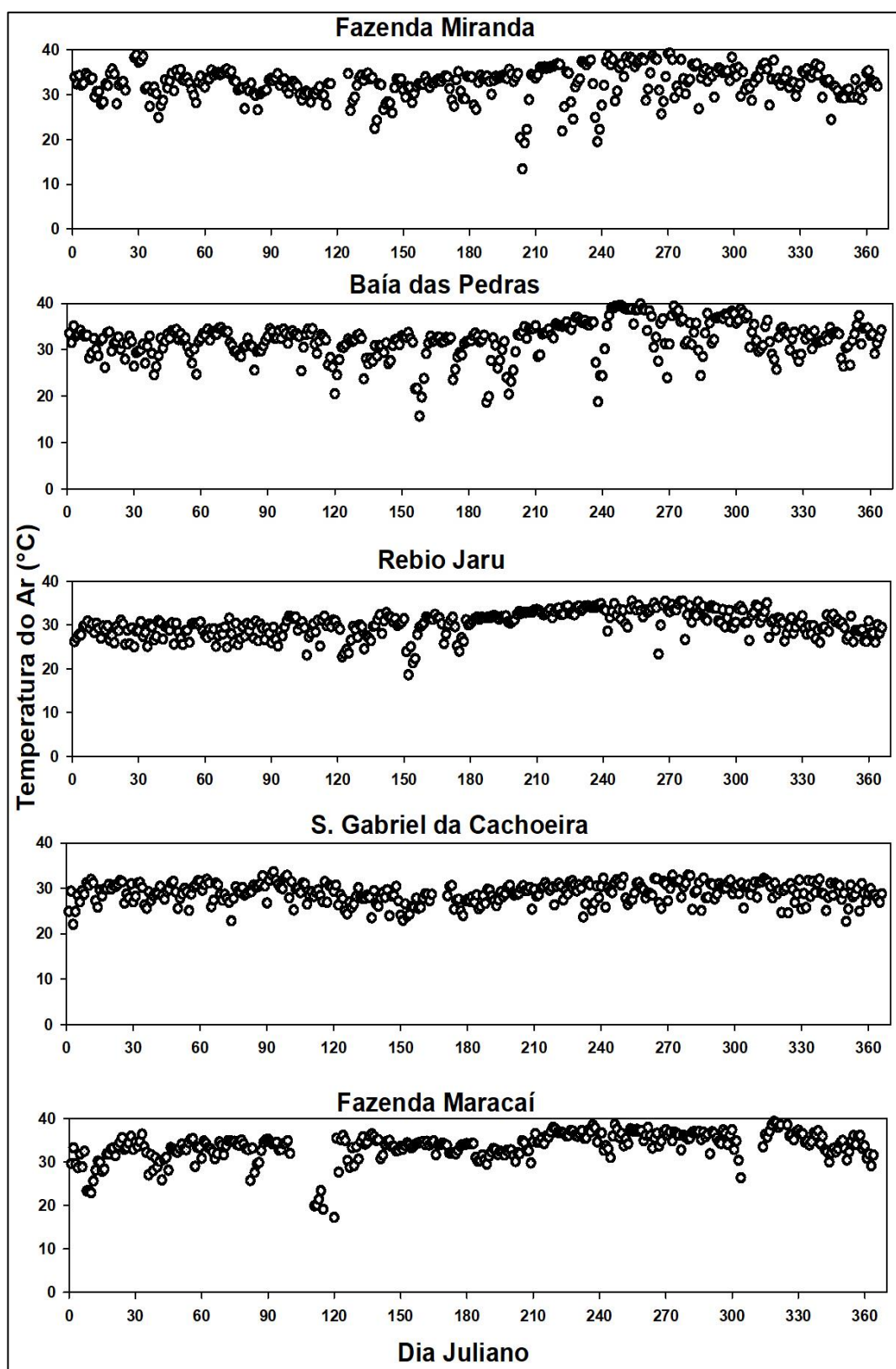


Figura 26- Valor diário máximo da Temperatura do Ar em função do Dia Juliano nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002).

Observa-se novamente um comportamento semelhante nos diferentes locais. O valor máximo de temperatura do ar atingido no ano se dá em torno do dia 270 (27 de setembro), ou seja, no final do período seco. Isso corrobora, mais uma vez, que a água deve ter papel crucial no controle da temperatura. Nas estações de maior umidade, a água presente no ar dificulta o seu aquecimento pela radiação solar. Assim, no período seco, durante o dia, a temperatura atinge maiores valores.

Essa observação é coerente com a ideia de que, no fim do período seco, os locais estudados contariam com uma concentração mínima de água, com um efeito de minimização da capacidade calorífica dos mesmos.

Uma terceira análise efetuada foi verificar os valores máximos diários de temperatura em função da hora do dia em que ocorrem (figura 27). Nessa figura, pode-se observar algumas diferenças entre os locais. Notadamente, S. Gabriel apresenta menor dispersão nos valores da temperatura máxima, bem como uma média menor. Isso pode ser corroborado pela Tabela 3, que apresenta os valores médios e desvios-padrões desses valores de temperatura máxima.

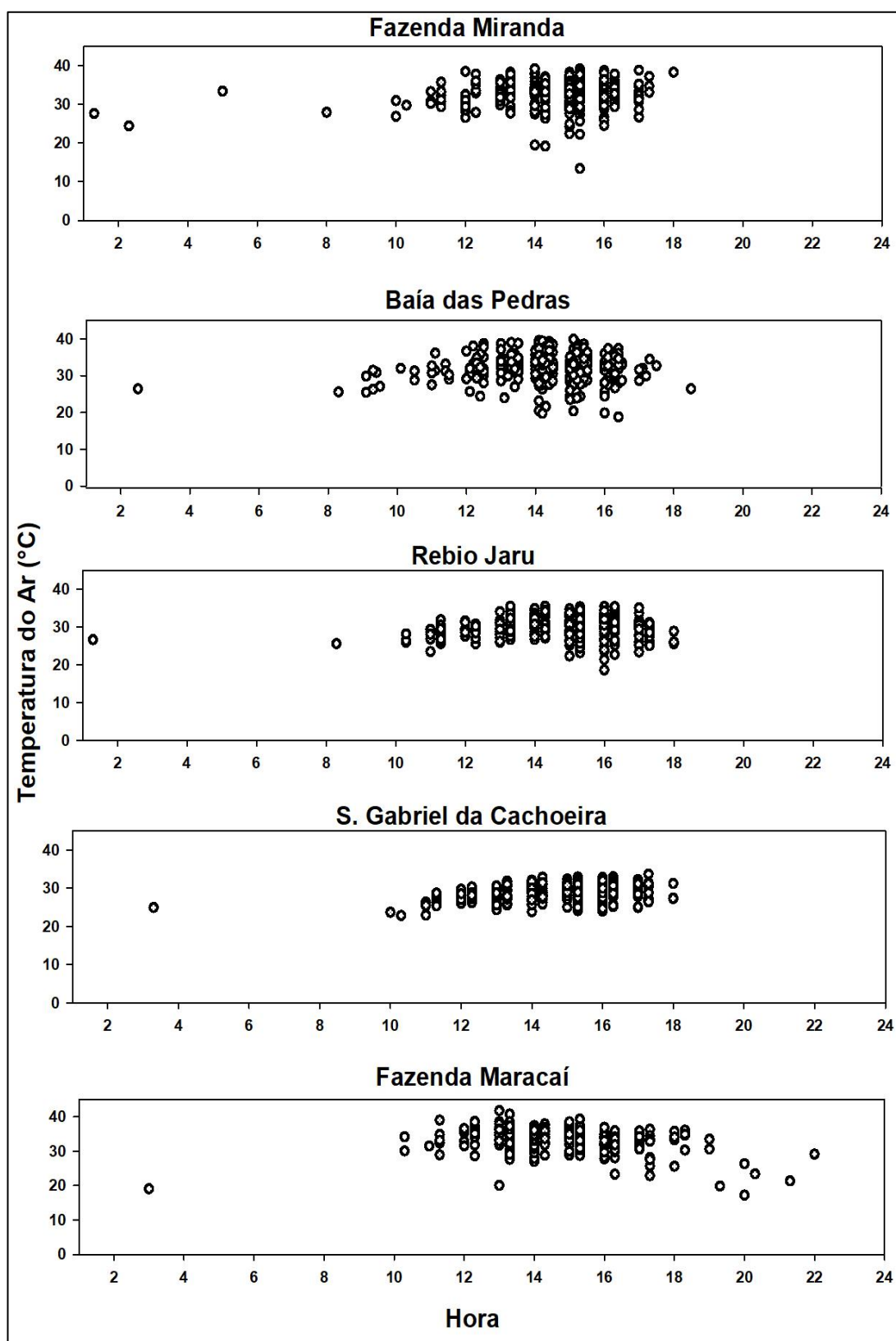


Figura 27- Valor diário máximo da Temperatura em função da Hora Fracionada nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

Uma vez que, em S. Gabriel da Cachoeira, a umidade relativa é maior, tem-se que esta variável pode exercer um papel regulatório para a temperatura. Consequentemente, o desvio padrão da temperatura se apresenta como o menor valor dentre os ecossistemas estudados (Tabela 3).

Tabela 3- Média e desvio padrão dos cinco locais do valor diário máximo da temperatura do ar.

Local	Média	Desvio Padrão
Fazenda Miranda-MT	32,57	3,53
Baía das Pedras-MT	32,04	3,90
Rebio Jaru -RO	30,20	2,84
São Gabriel da Cachoeira-MT	28,95	2,17
Fazenda Maracaí-MT	33,60	3,30

4.3.2 Caracterização da Temperatura Mínimo Diária

Da mesma forma, foi realizada uma análise comparativa da dinâmica das variáveis nos cinco locais analisados, verificou-se em que instante de tempo durante o dia a temperatura dos locais atingiu o valor mínimo.

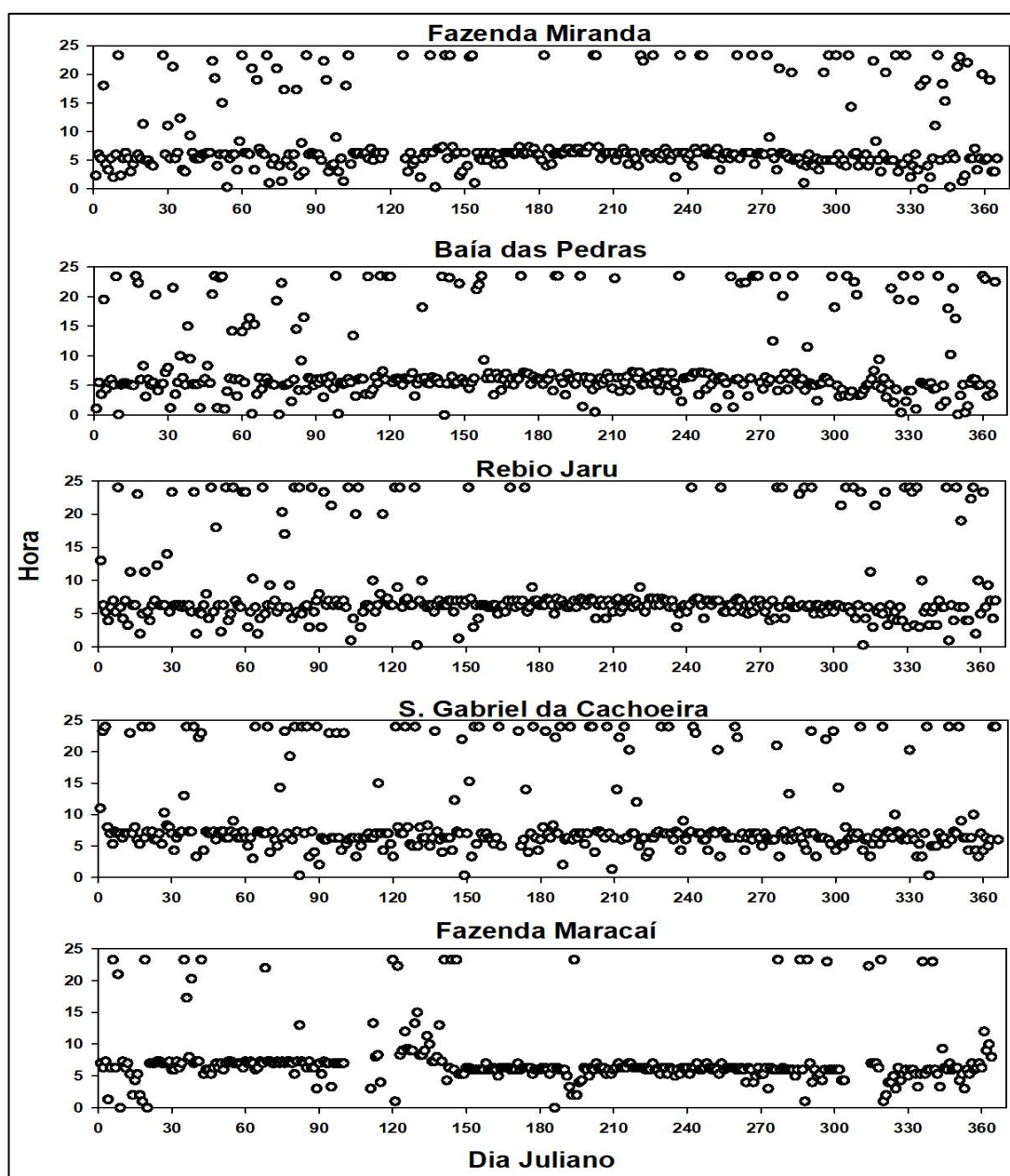


Figura 28- Valor diário da Hora Fracionada em que a temperatura atinge o valor mínimo diário, em função do Dia Juliano nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

O que se observa dessa figura 28 é que a temperatura mínima diária ocorre, independentemente do local, na maioria dos dias, às 5 horas da manhã, ou seja, no final do período noturno. Este resultado é esperado uma vez que os locais essencialmente passam por um período de resfriamento com a ausência da radiação solar.

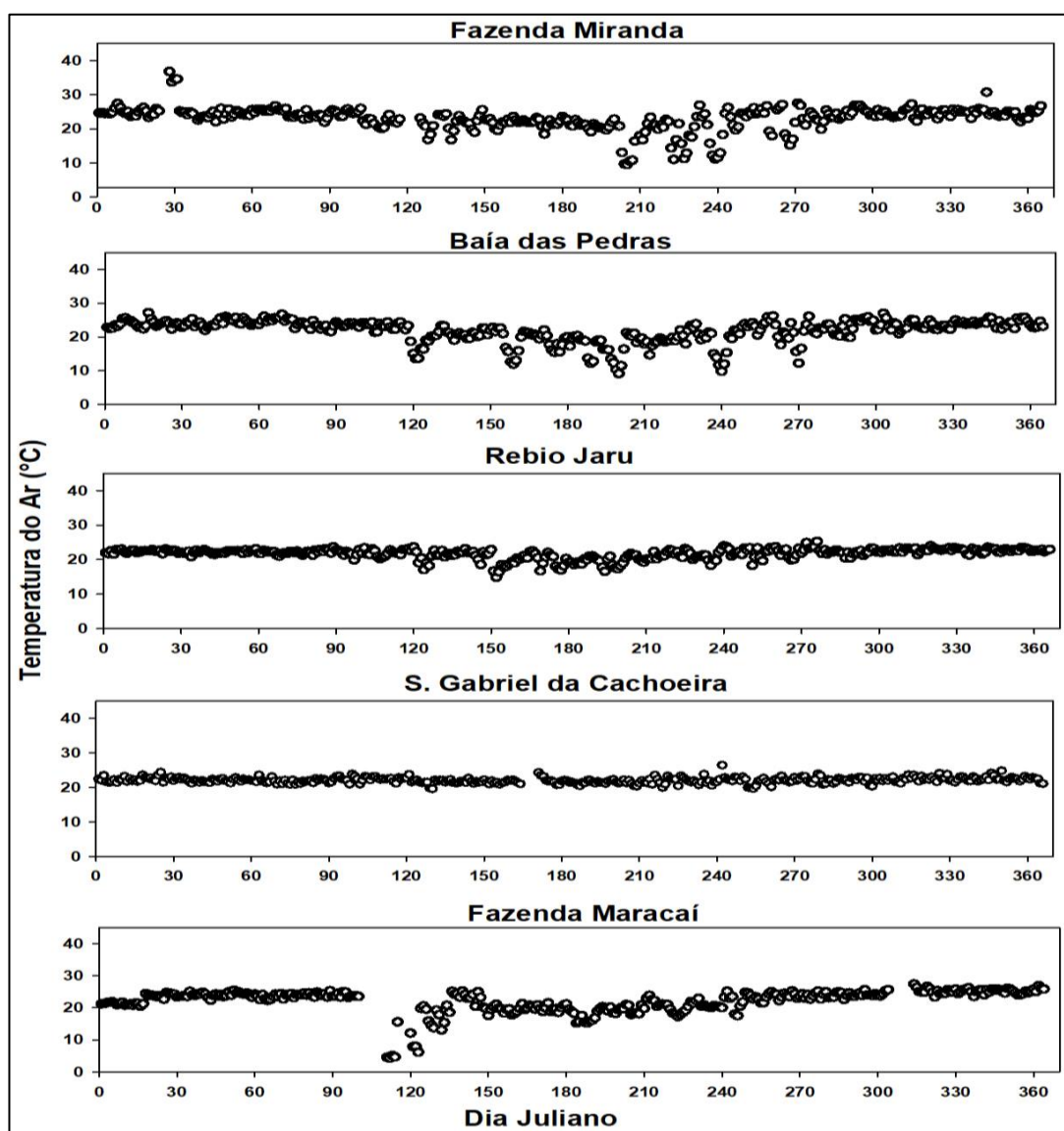


Figura 29- Valor diário mínimo da Temperatura em função do Dia Juliano nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

Na figura 29, quanto aos valores mínimos diários da temperatura do ar, verifica-se que se encontram na faixa entre aproximadamente 20 e 25 °C, em todos os locais. Contudo, verifica-se que o valor mínimo da temperatura é menos variável em S. Gabriel da Cachoeira, novamente confirmando o papel regulatório exercido pela vegetação densa. De modo consequente, o desvio padrão da temperatura São Gabriel da Cachoeira se apresenta como o menor valor dentre os ecossistemas estudados (Tabela 3).

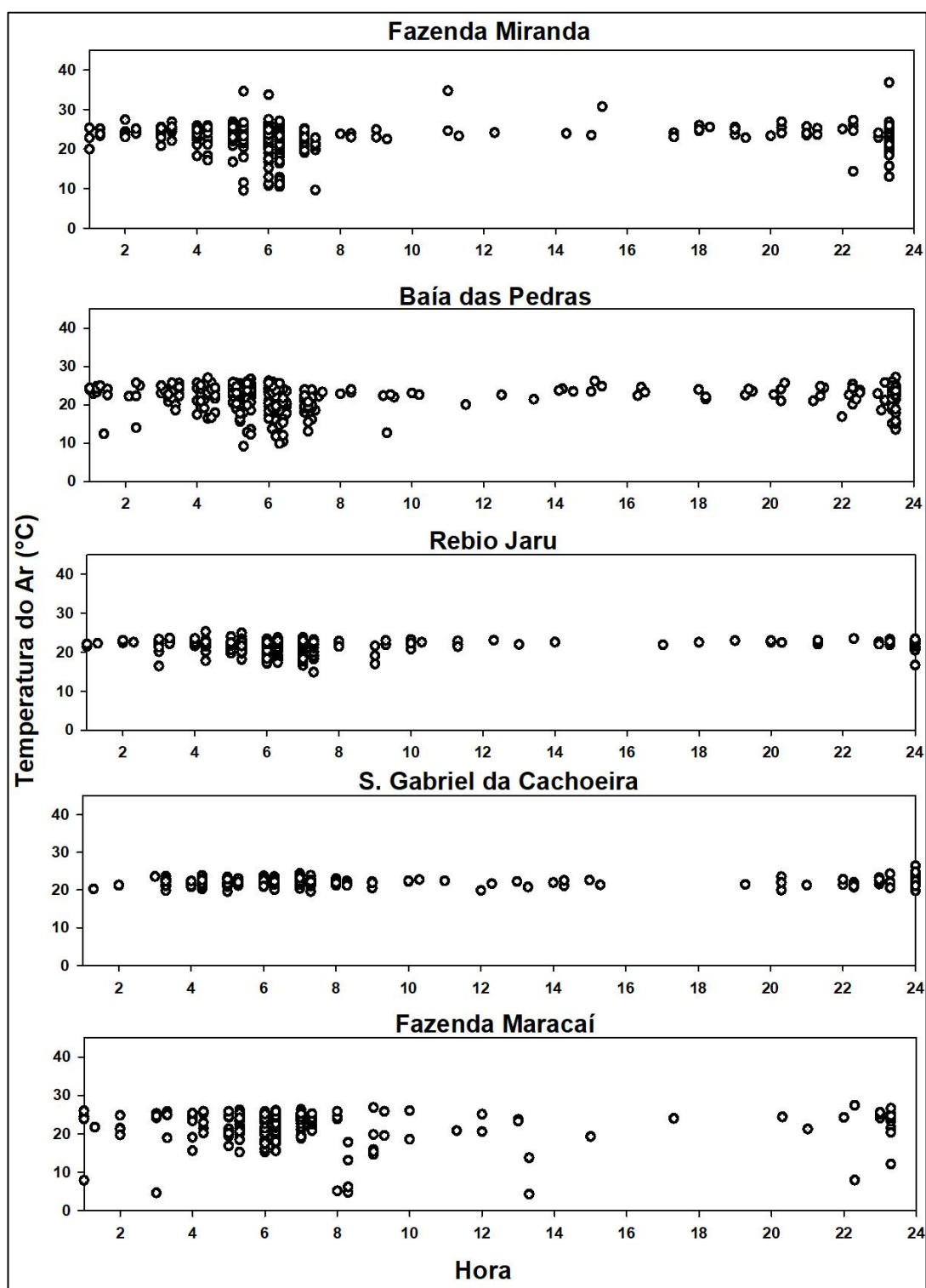


Figura 30- Valor diário mínimo da Temperatura da Ar em função da Hora Fracionada nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002).

Nesta figura 30, novamente se observa uma concentração de ocorrências do valor mínimo de temperatura em torno das cinco horas da manhã. Contudo, em alguns dias, ocorre que o mínimo de temperatura se dá antes da meia noite, possivelmente pela ação de variáveis não tão frequentes, como ventos. De acordo com a tabela 4, o local São Gabriel da Cachoeira apresenta o menor valor no desvio padrão.

Tabela 4- Média e desvio padrão dos cinco locais do valor diário mínimo da temperatura do ar.

Local	Média	Desvio Padrão
Fazenda Miranda-MT	23,03	3,45
Baía das Pedras-MT	21,86	3,31
Rebio Jaru-RO	21,73	1,53
São Gabriel Cachoeira-AM	22,05	0,85
Fazenda Maracaí-MT	22,07	3,59

4.3.3 Caracterização da Umidade Máxima Diária

Com o intuito de realizar uma análise comparativa da dinâmica das variáveis nos cinco locais analisados, verificou-se em que instante de tempo durante o dia a umidade relativa dos locais atingiu o valor máximo.

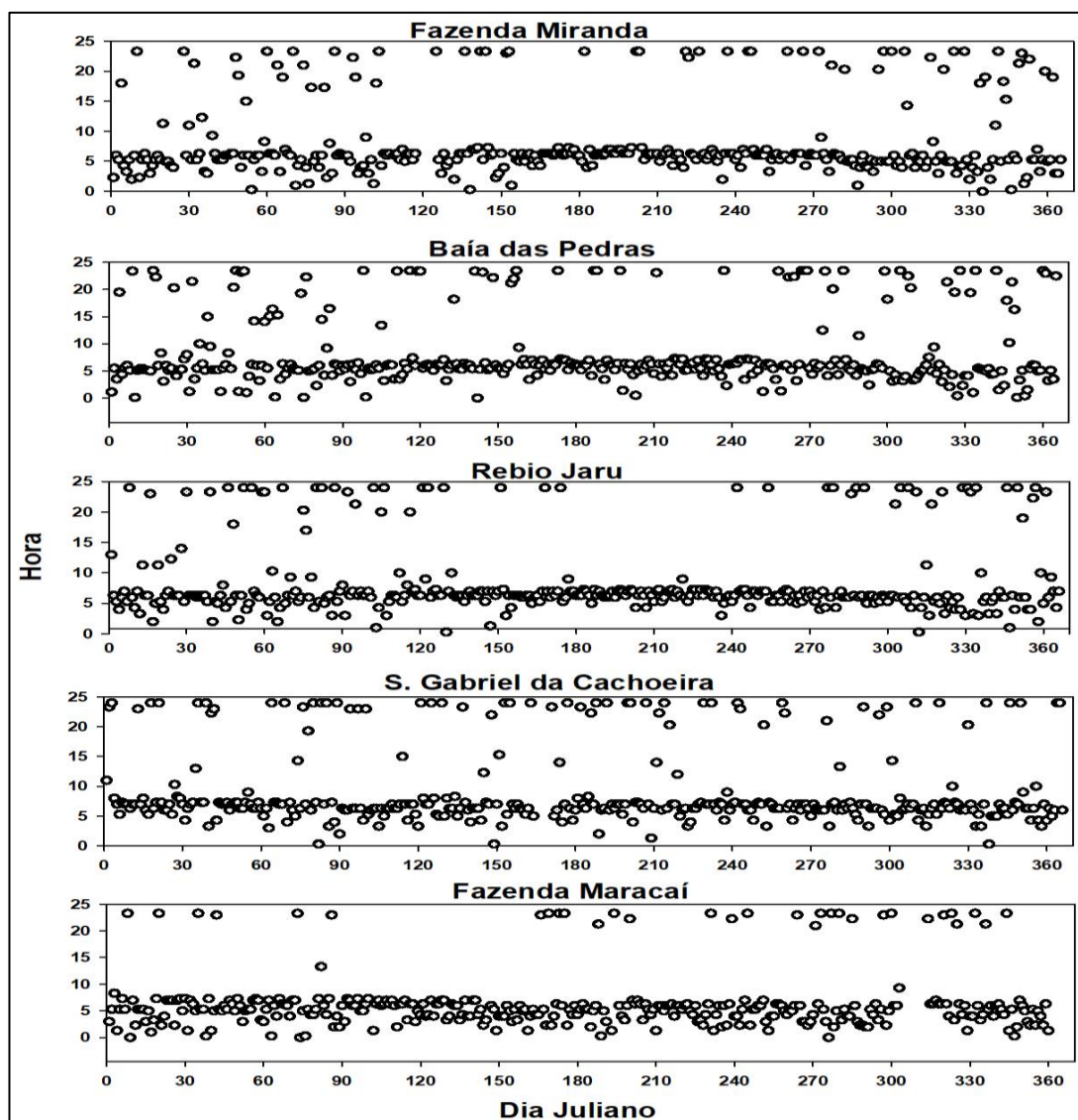


Figura 31- Valor diário da Hora Fracionada em que a Umidade Relativa atinge o valor máximo diário, em função do Dia Juliano nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

Nota-se, na figura 31 o instante em que a umidade relativa é máxima se dá em torno das 5h, ao longo de todo o ano, em todos os locais. Verifica-se uma maior dispersão desse valor na estação chuvosa, notadamente em Fazenda Miranda, Baía das Pedras e Rebio Jaru e S. Gabriel da Cachoeira.

Outro aspecto analisado foi o maior valor diário da umidade relativa observado nos ecossistemas (figura 32).

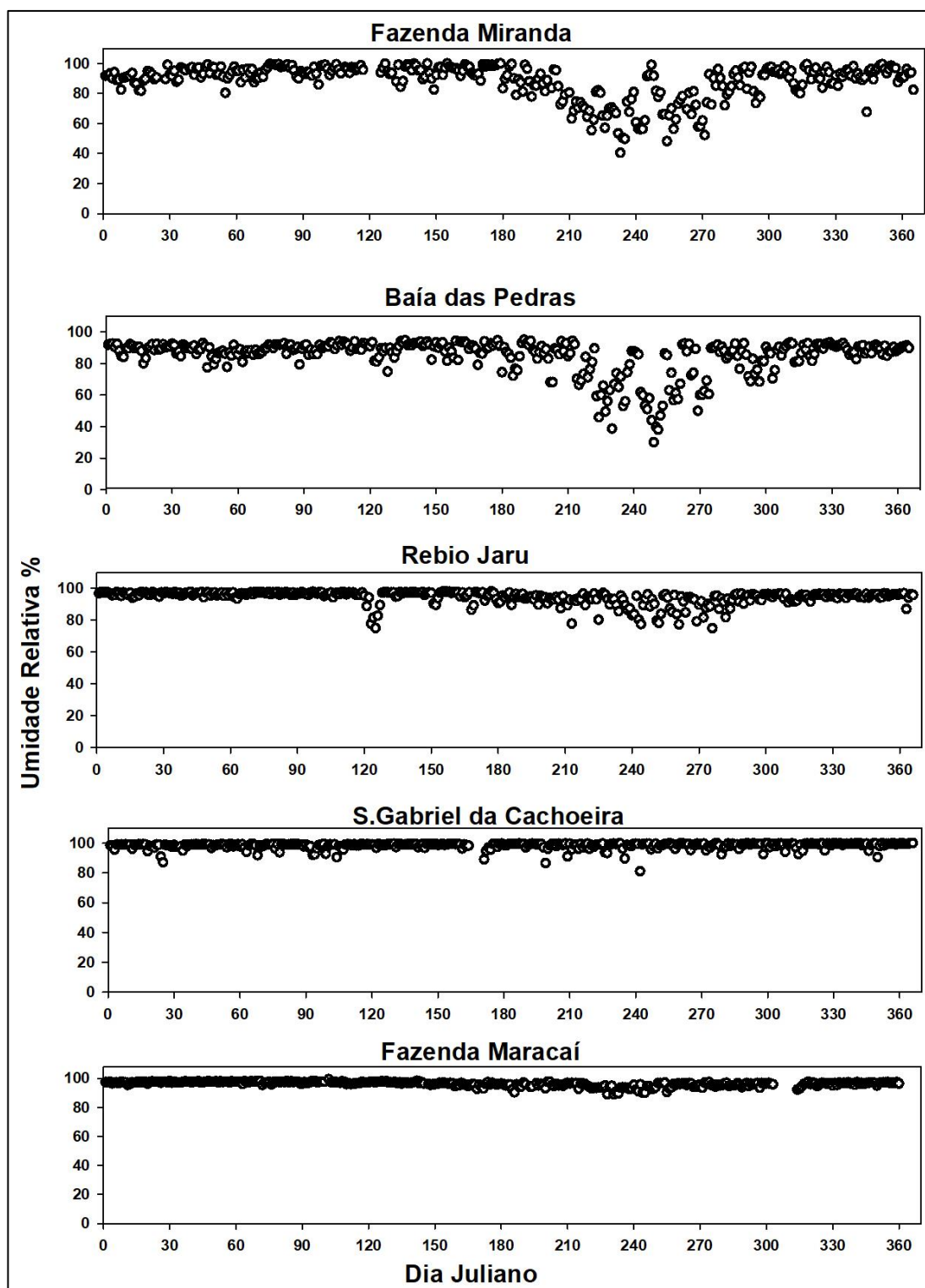


Figura 32- Valor diário máximo da Umidade em função do Dia Juliano nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

Observa-se na figura 32 um comportamento semelhante nos diferentes locais. O valor máximo da umidade relativa atingido no ano se dá no período chuvoso. Outra análise efetuada foi verificar os valores máximos diários da umidade relativa em função da hora do dia em que ocorrem (figura 33).

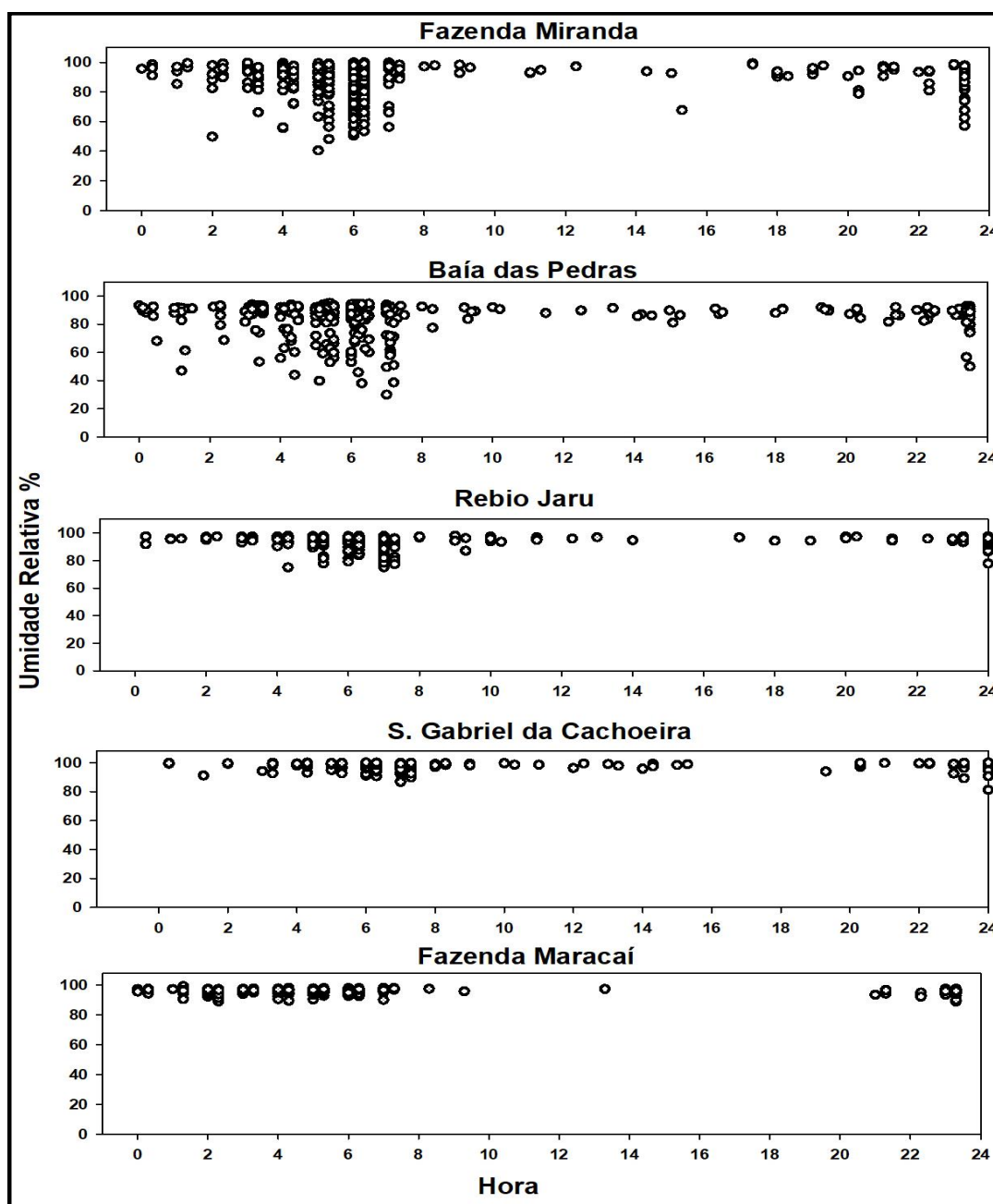


Figura 33- Valor diário máximo da Umidade Relativa em função da Hora Fracionada nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracaí (2002).

Verifica-se que, S. Gabriel da Cachoeira, a umidade relativa é maior, tem-se que esta variável pode exercer um papel regulatório para a temperatura. Consequentemente, o desvio padrão da umidade se apresenta com o valor 2,21 e a média 98,42% o maior valor dentre os locais estudados (Tabela 5).

Tabela 5- Média e desvio padrão dos cinco locais do valor diário máximo da umidade relativa.

Local	Média	Desvio Padrão
Fazenda Miranda-MT	88,33	11,58
Baía das Pedras-MT	84,80	11,23
Rebio Jaru-Ro	94,40	4,28
São Gabriel Cachoeira-AM	98,42	2,21
Fazenda Maracaí-MT	96,22	1,66

4.3.4 Caracterização da Umidade Mínima Diária

Dando continuidade análise comparativa da dinâmica das variáveis nos cinco locais analisados, verificou-se em que instante de tempo durante o dia a umidade relativa dos locais atingiu o valor mínimo.

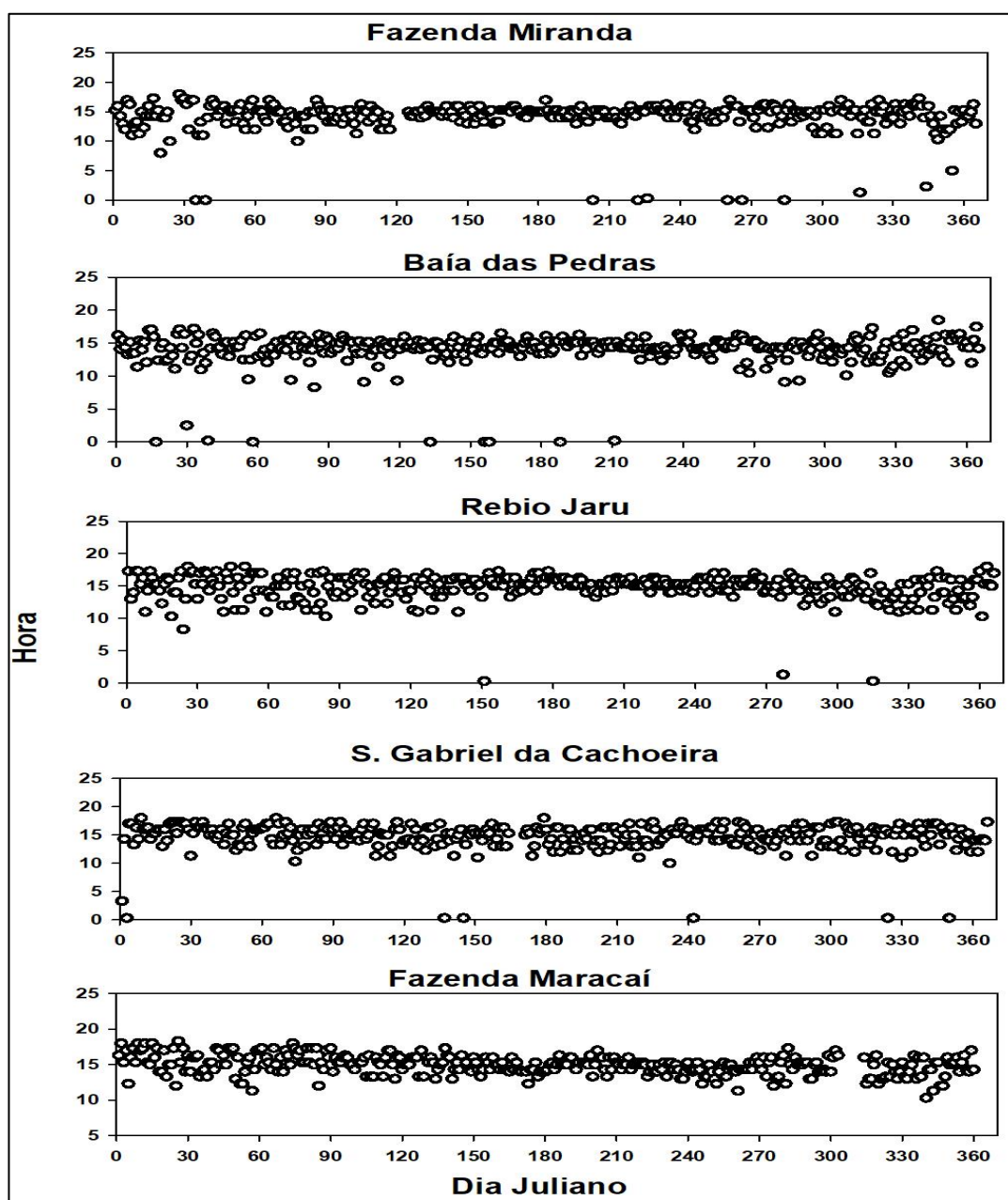


Figura 34- Valor diário Hora Fracionada em que a Umidade Relativa atinge o valor mínimo diário, em função do Dia Juliano nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

De acordo com a figura 34 a umidade mínima diária ocorre, independentemente do local, na maioria dos dias, às 15 horas, ou seja, no período em que a temperatura é mais intensa (Conforme a figura 25). Este resultado é esperado uma vez que os locais essencialmente passam por um período de aquecimento com a presença da radiação solar.

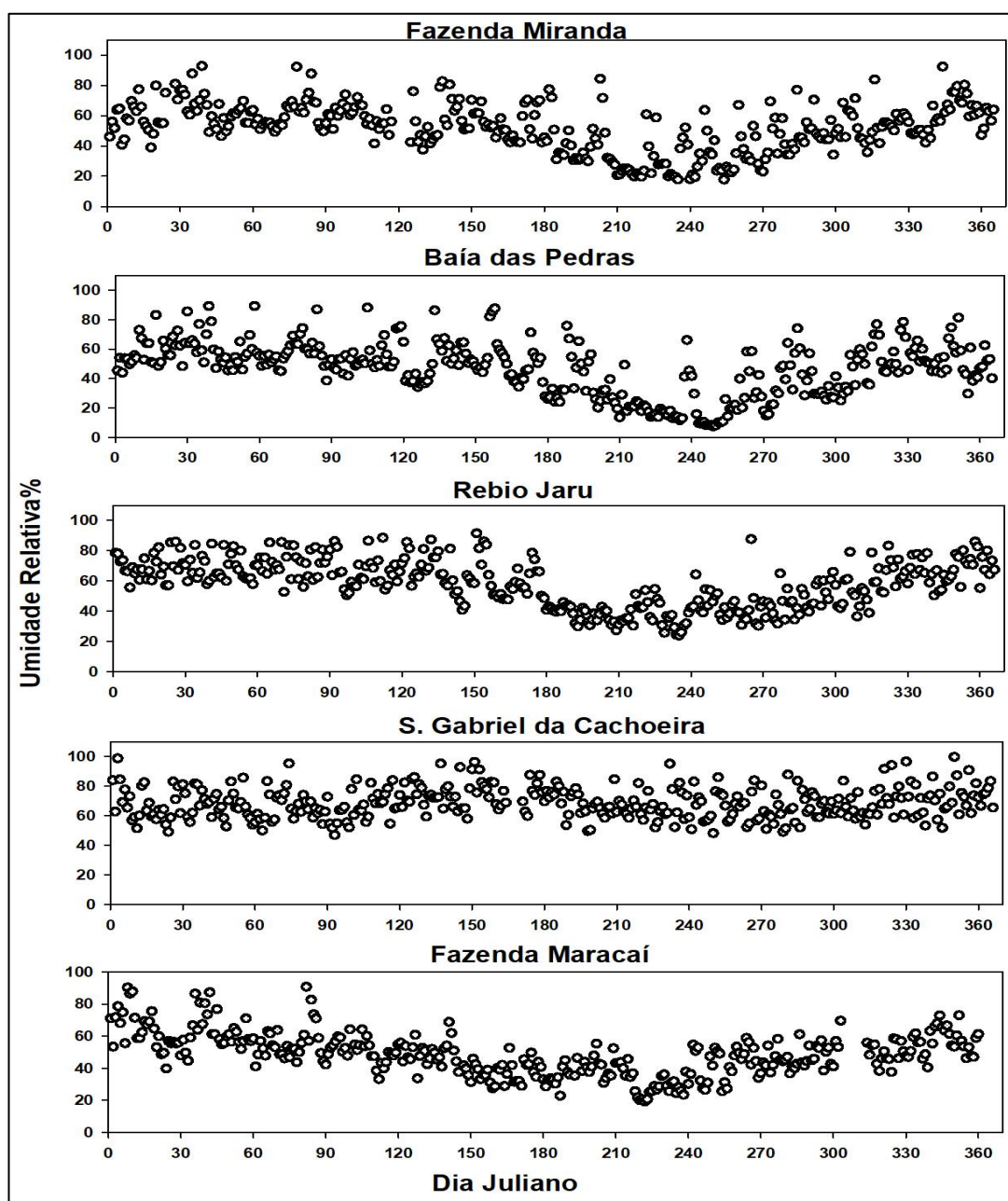


Figura 35- Valor diário mínimo da Umidade Relativa em função do Dia Juliano nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

Na figura 35, quanto aos valores mínimos diários da umidade, verifica-se que se encontram na faixa entre 20 a 80%, em todos os locais. Contudo, verifica-se que o valor mínimo da umidade é menor em Baía das Pedras de acordo com a tabela 6 com o valor médio 46,52%. Porém, o desvio padrão da umidade S. Gabriel da Cachoeira apresenta como o menor valor dentre os locais estudados 10,43 (Tabela 6).

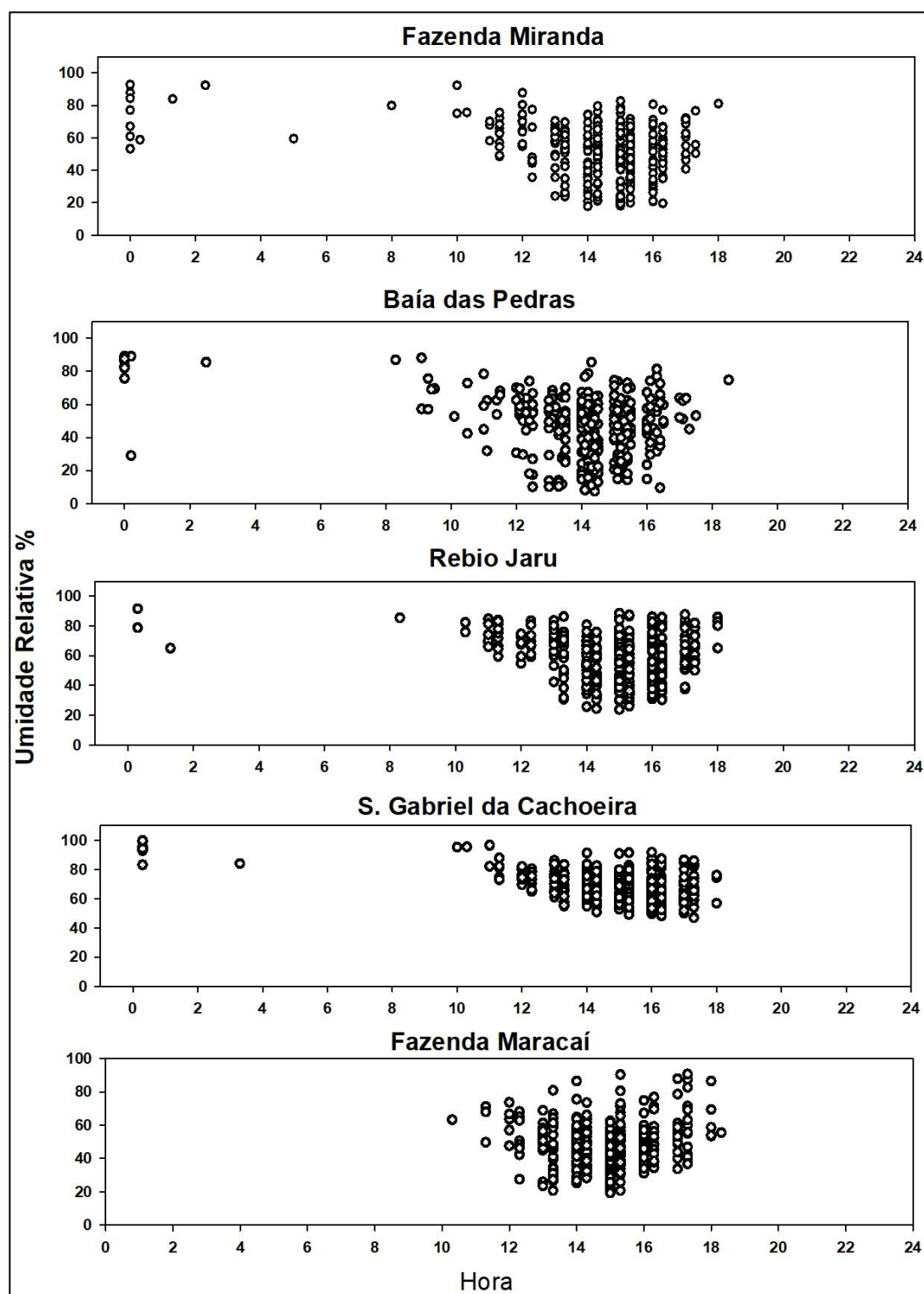


Figura 36- Valor diário mínimo da Umidade Relativa em função da Hora Fracionada nos locais Fazenda Miranda (2013), Baía das Pedras (2012 e 2013), Rebio Jaru (2008), S. Gabriel da Cachoeira (2008) e Fazenda Maracá (2002).

Nesta figura 36, observa-se uma concentração de ocorrências do valor mínimo de umidade entre 14 e 16 horas. Diferentemente, em alguns dias, ocorre que o mínimo de umidade se dá antes após as 16h e às 12h.

Tabela 6- Média e desvio padrão dos cinco locais do valor diário mínimo da umidade relativa.

Local	Media	Desvio Padrão
Fazenda Miranda-MT	51,88	15,87
Baía das Pedras-MT	46,52	17,96
Rebio Jaru-RO	58,21	15,77
São Gabriel Cachoeira-AM	68,74	10,43
Fazenda Maracaí-MT	48,89	13,35

4.4 DINÂMICA DO RESFRIAMENTO NOTURNO COMPARADO COM O PREVISTO PELO MODELO SECO CONSIDERANDO OS VALORES MEDIDOS DA UMIDADE RELATIVA

O estudo apresentado nesta seção representa os valores medidos da temperatura do Ar entre as 20h e 5h do dia subsequente. Para isso, considerou-se que 20h corresponde a $t = 0$; 20:30h, a $t = 0,5h$; 21h, a $t = 1h$, etc., conforme a tabela 7.

Tabela 7- Representação das Horas do Modelo Seco

Hora	Hora da Noite
20h 00min	0h
20h 30min	0.5h
21h 00min	1h
21h 30min	1.5h
22h 00min	2h
22h 30min	2.5h
23h 00min	3h
23h 30min	3.5h
00h 00min	4h
00h 30min	4.5h
01h 00min	5h
01h 30min	5.5h
02h 00min	6h
02h 30min	6.5h
03h 00min	7h
03h 30min	7.5h
04h 00min	8h
04h 30min	8.5h
05h 00min	9h

Nos gráficos a seguir (figuras 41 a 100), apresentam-se os valores de temperatura observados em uma noite específica de cada mês (entre os dias 14 e 15), em função dos instantes de tempo conforme a tabela 7, comparados com os valores previstos pelo modelo seco e valores observados da umidade relativa, de acordo com a legenda 1 abaixo.

Em primeiro lugar, serão apresentados os respectivos gráficos para os cinco locais estudados, e em seguida, serão feitos os comentários correspondentes. Optou por essa forma de apresentação, pois, como será visto, observa-se a mesma dinâmica para o resfriamento noturno em todos os locais.

4.4.1 FAZENDA MIRANDA

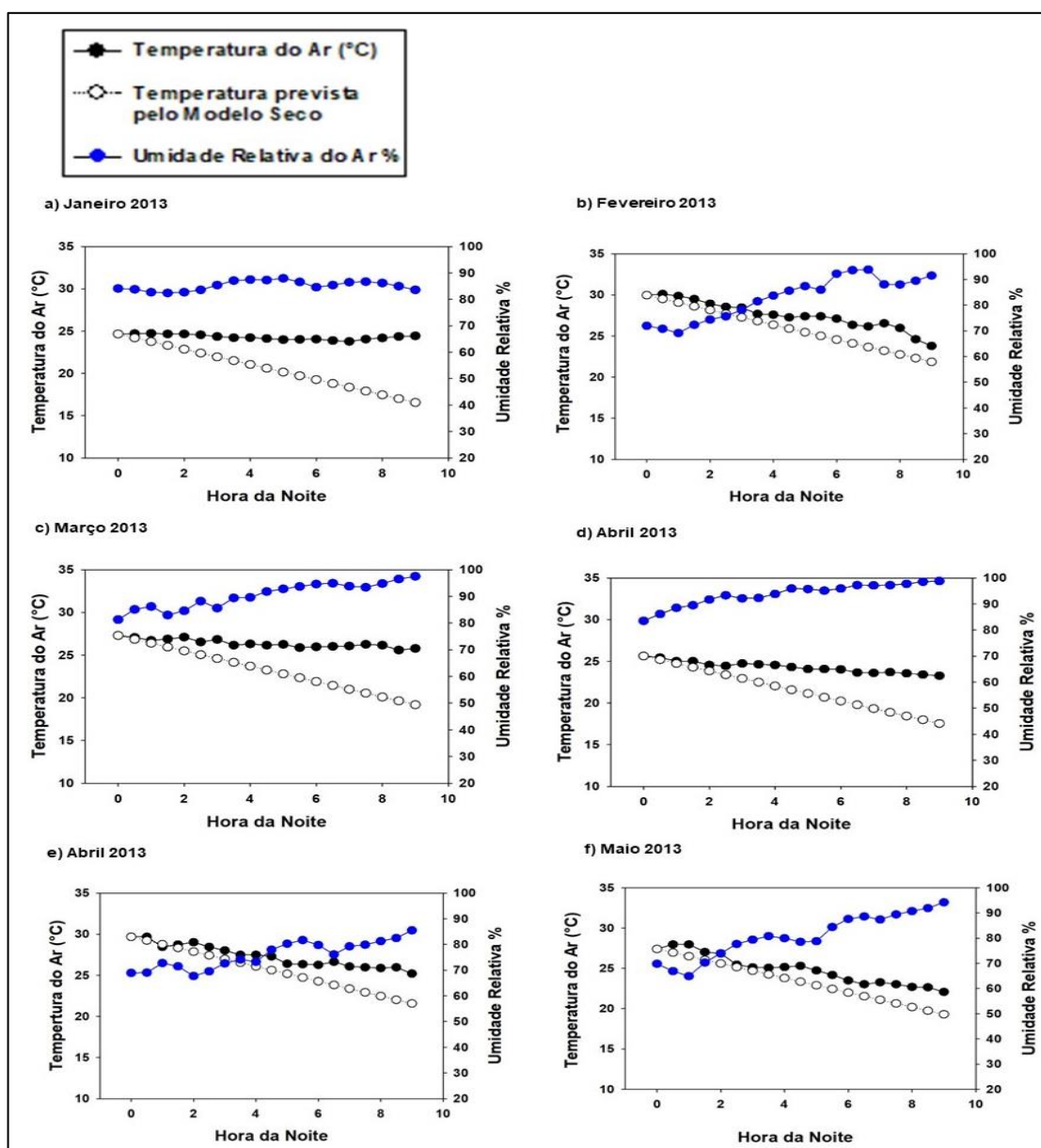


Figura 37 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (Fazenda Miranda - janeiro a junho 2013).

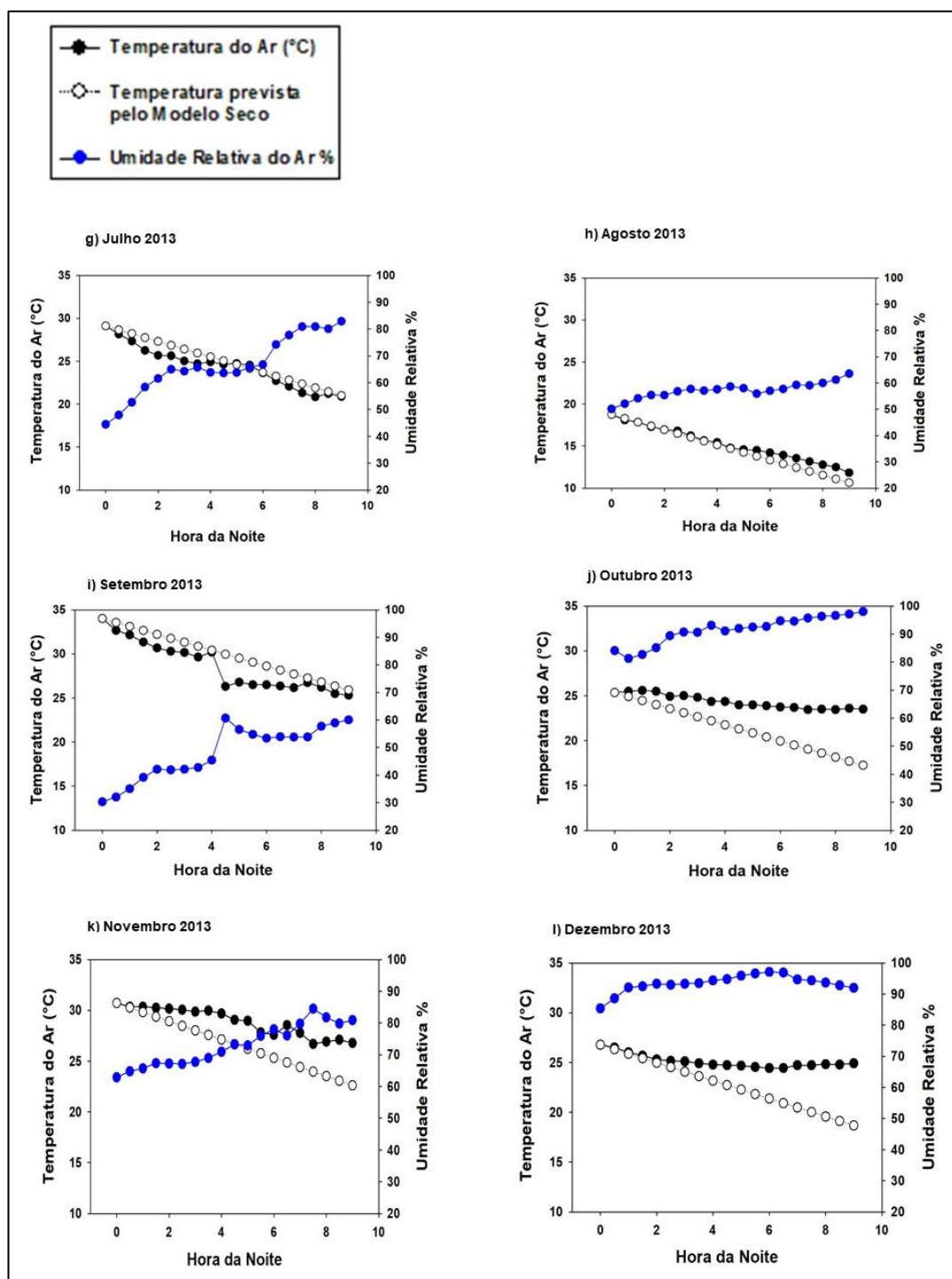


Figura 38 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (Fazenda Miranda – julho a dezembro 2013).

4.4. 2 BAÍA DAS PEDRAS

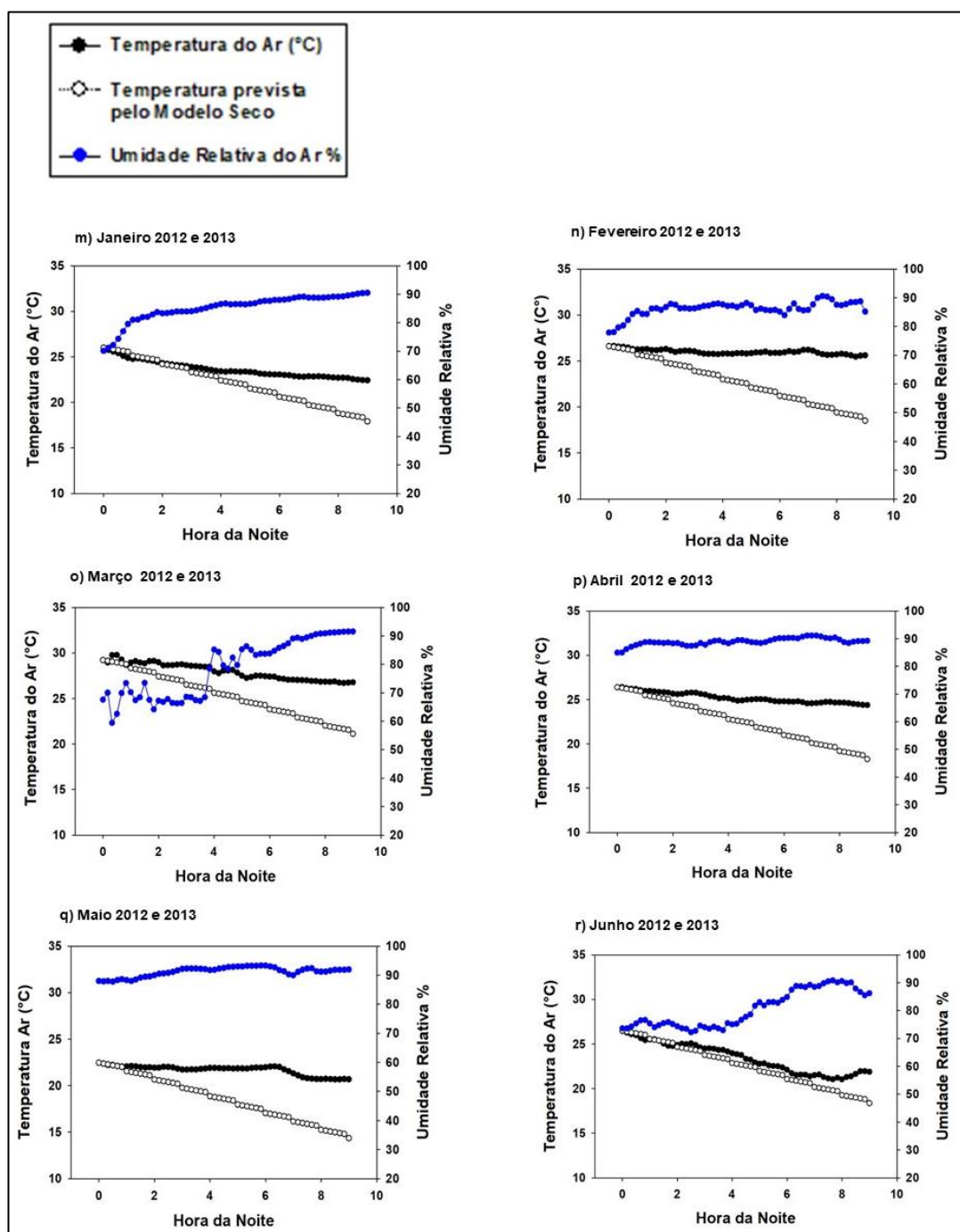


Figura 39 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (Baía das Pedras - janeiro a junho 2012 e 2013).

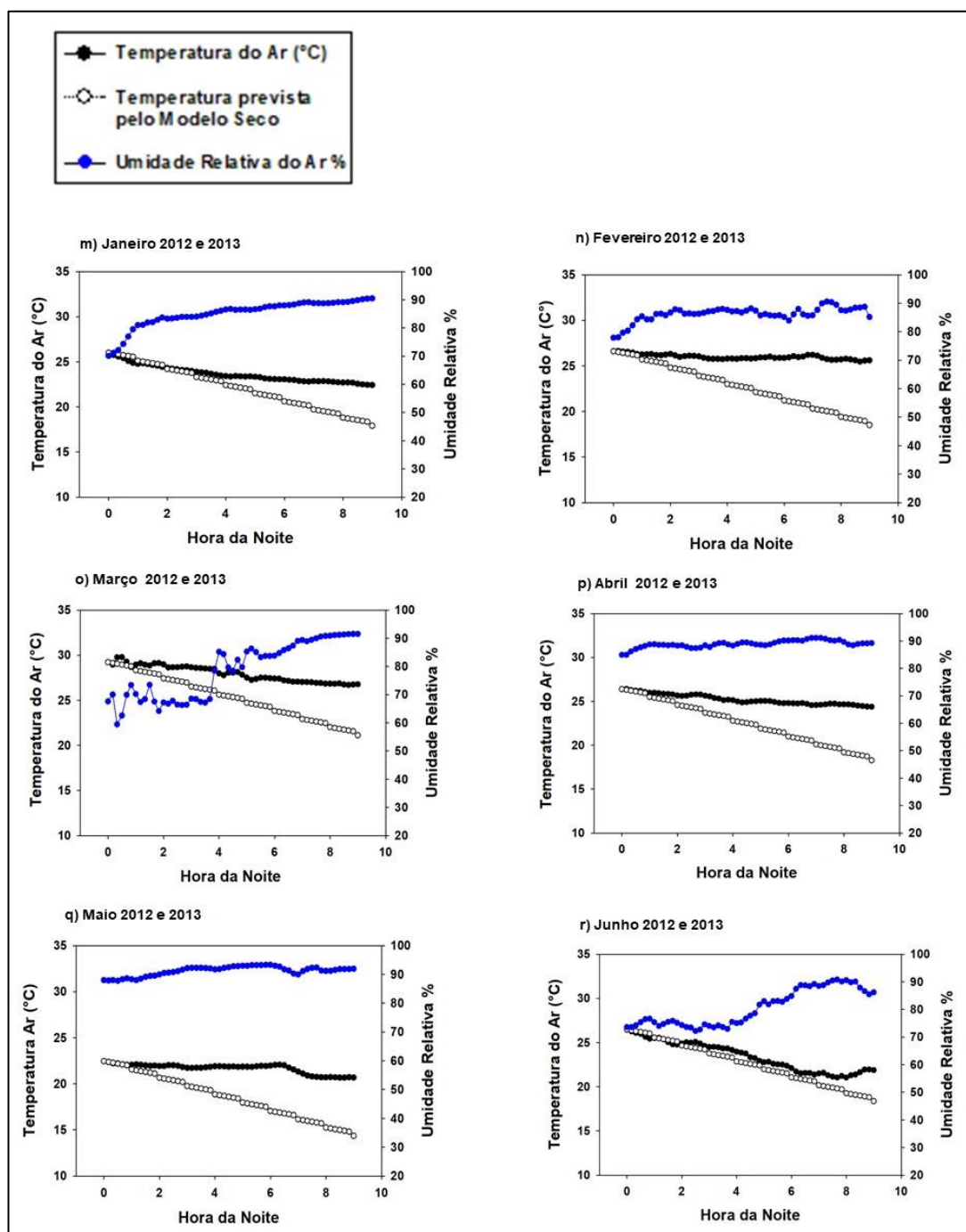


Figura 40 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (Baía das Pedras - julho a dezembro 2012 e 2013).

4.4.3 REBIO JARU

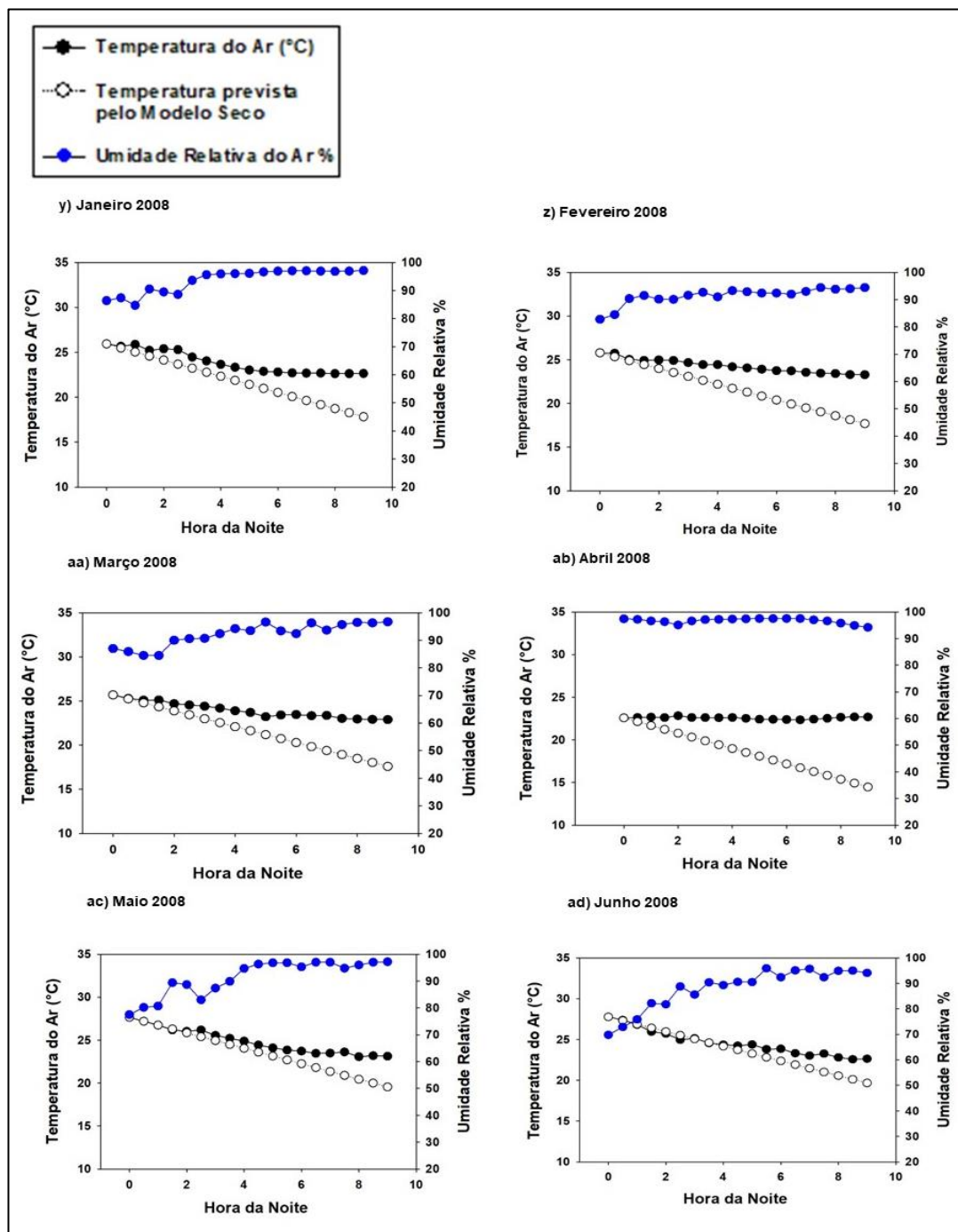


Figura 41 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (Rebio Jaru- janeiro a junho 2008).

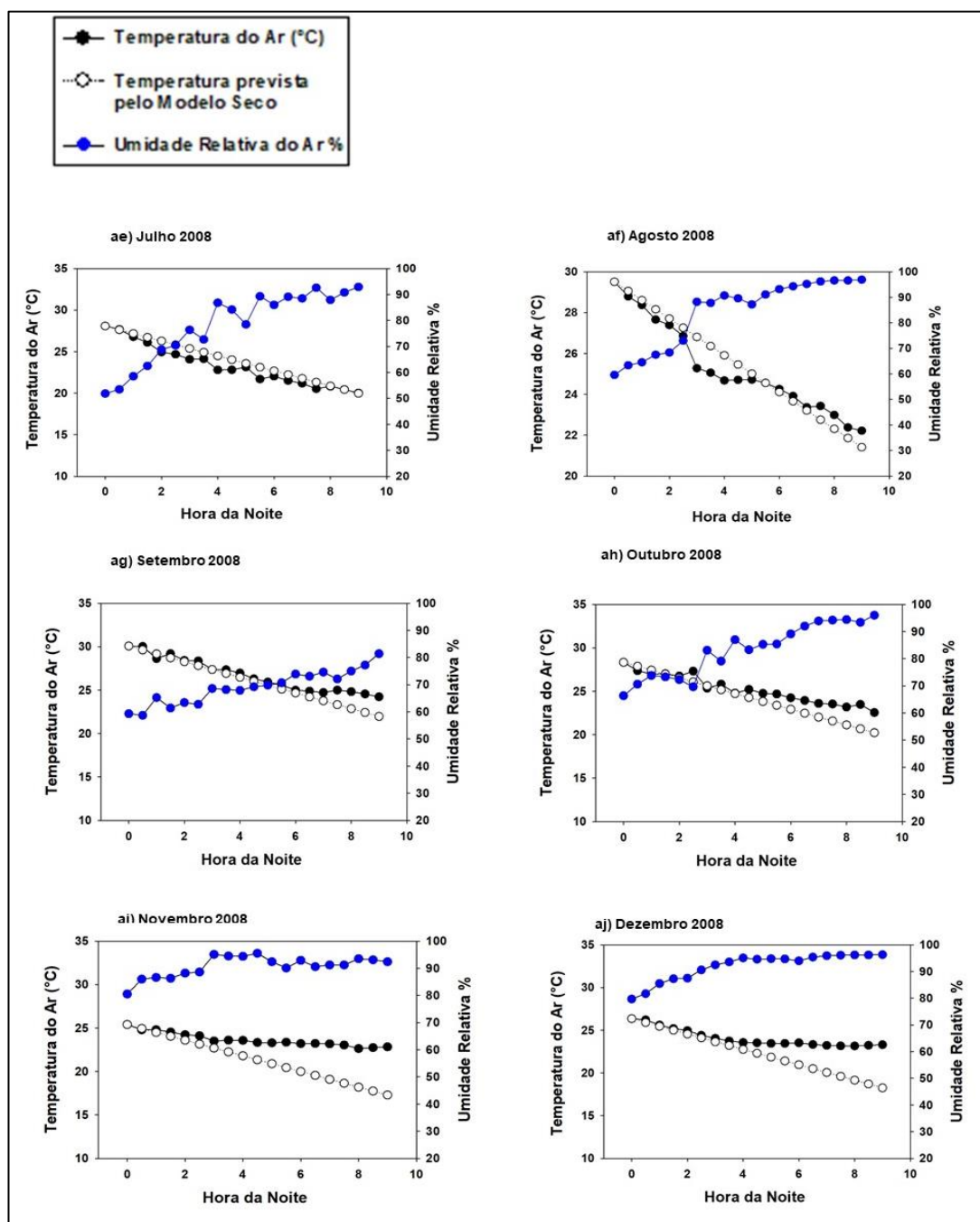


Figura 42 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (Rebio Jaru- julho a dezembro 2008).

4.4.4 SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA

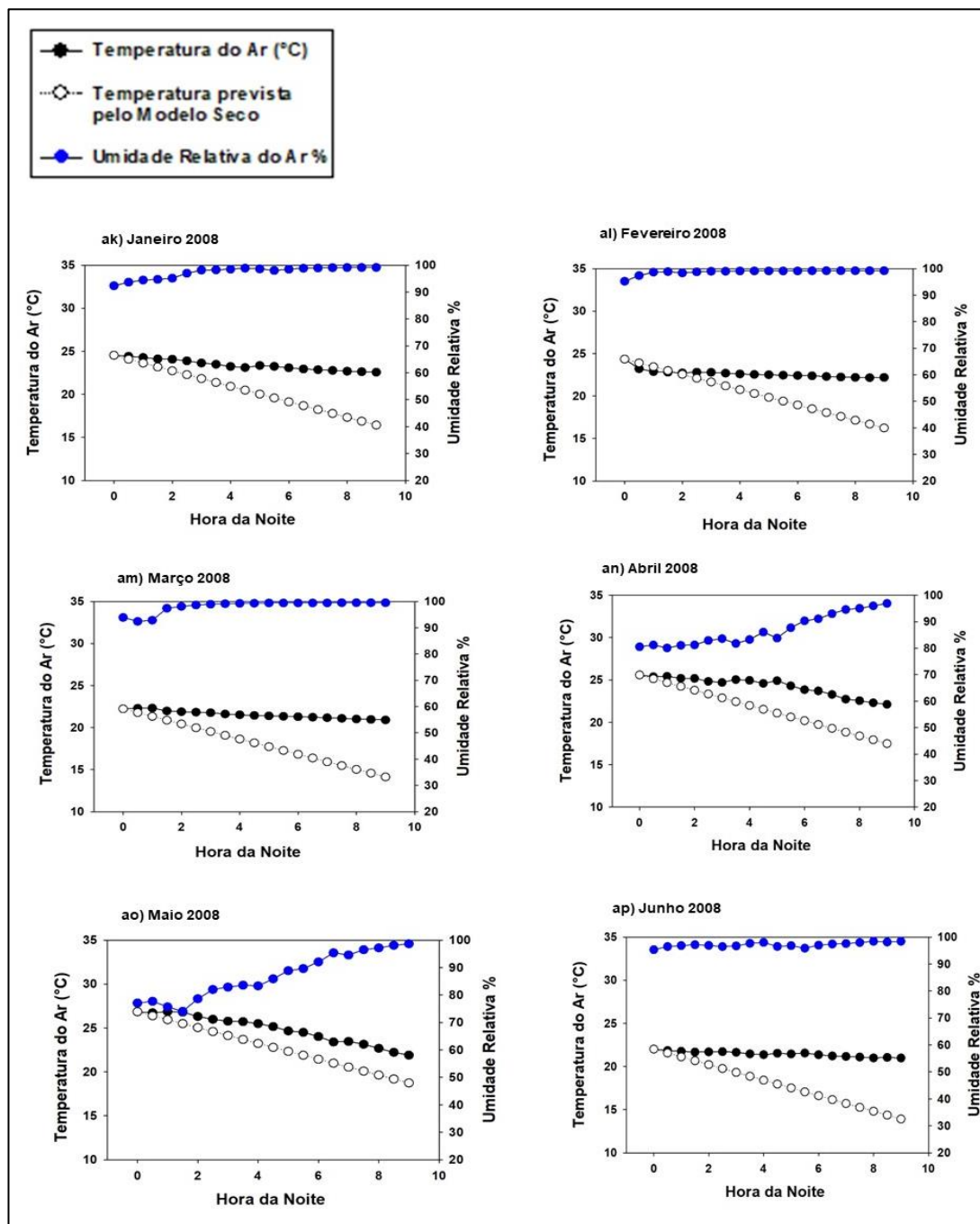


Figura 43 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (São Gabriel da Cachoeira- janeiro a junho 2008).

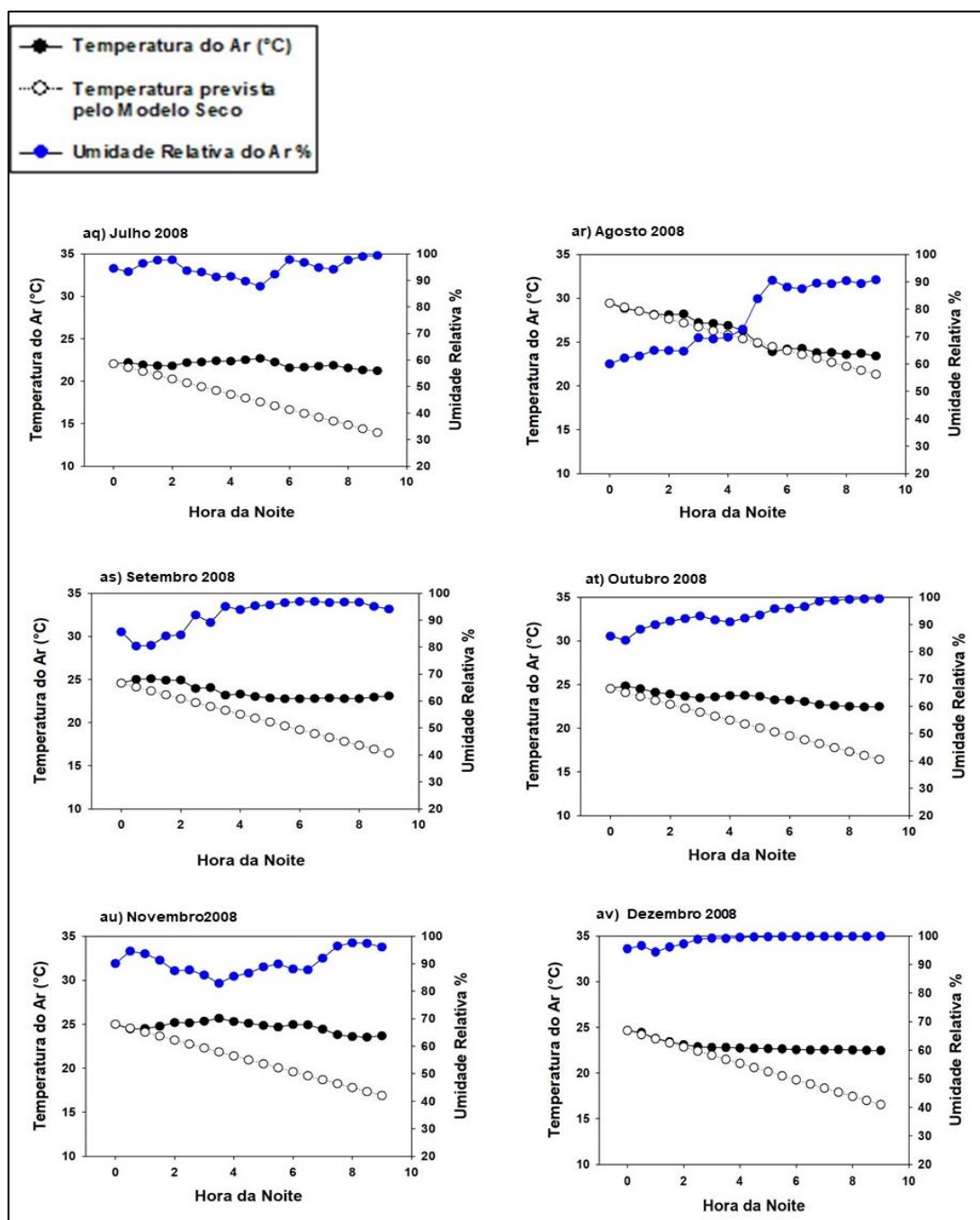


Figura 44 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (São Gabriel da Cachoeira- julho a dezembro 2008).

4.4. 5 FAZENDA MARACAÍ

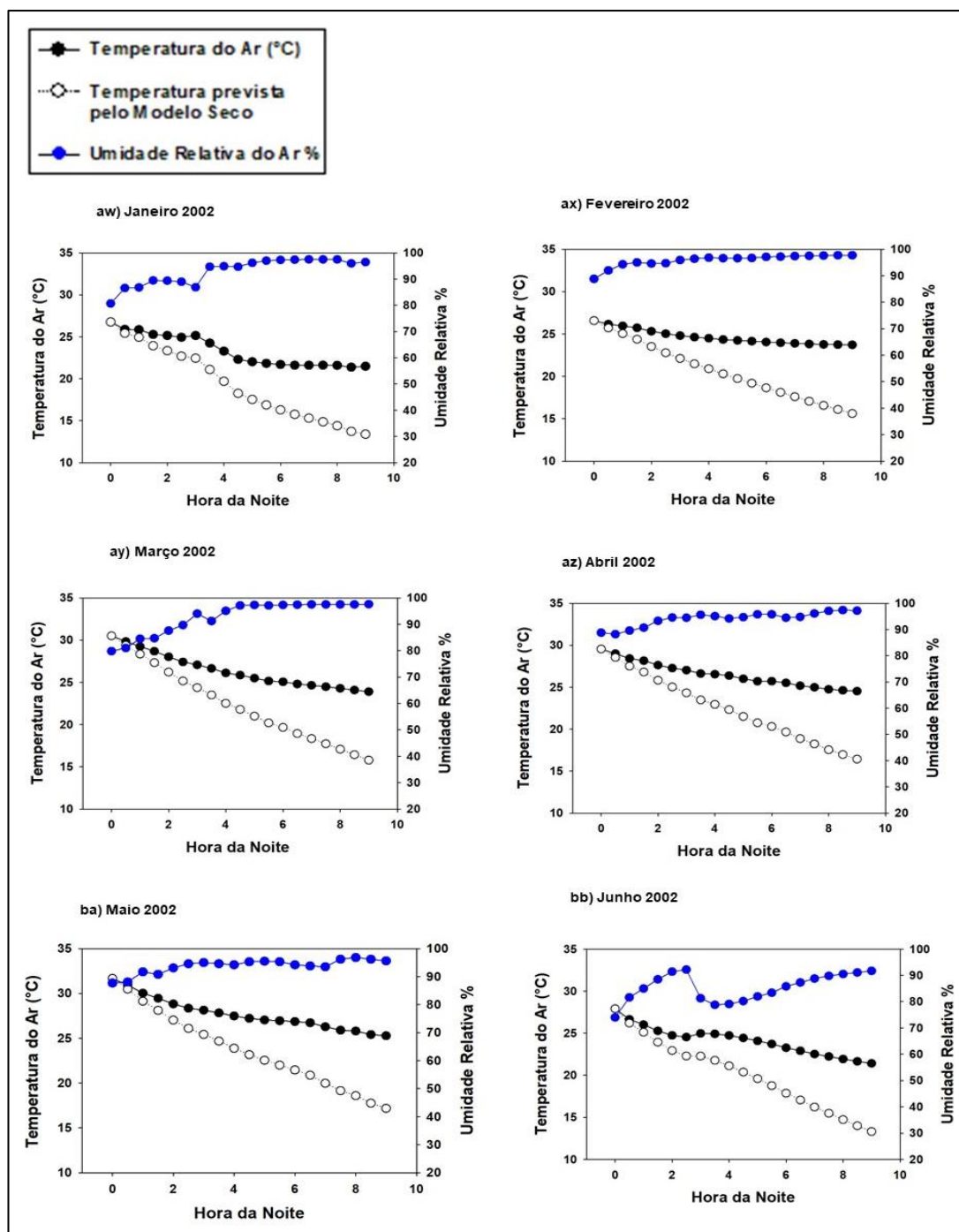


Figura 45 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (Fazenda Maracáí- janeiro a junho 2002).

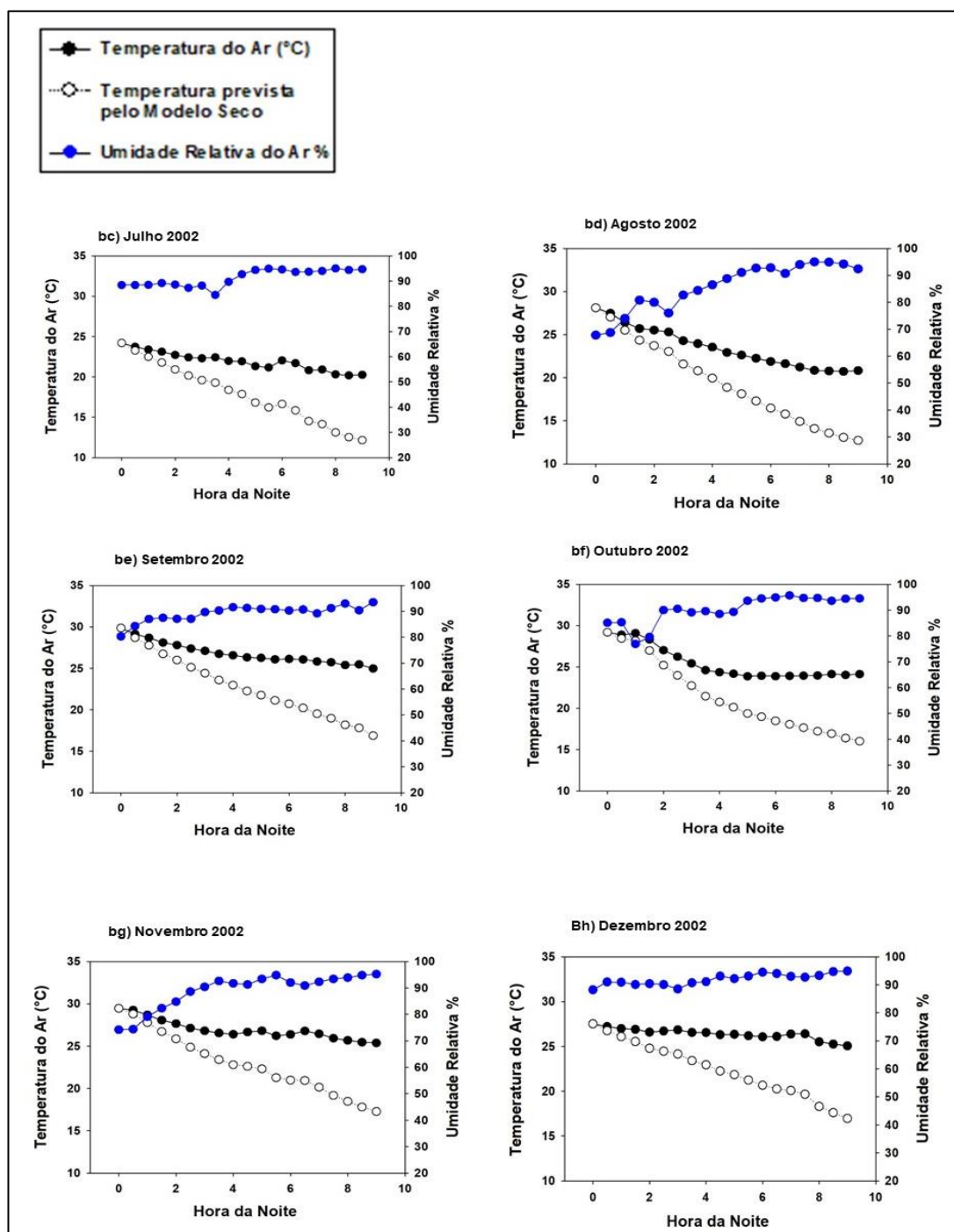


Figura 46 - Perfil da Temperatura do Ar (°C) e Umidade Relativa (%) em função do tempo (Fazenda Maracaí- julho a dezembro 2008).

O perfil do comportamento do resfriamento noturno apresentado em todos os gráficos reproduzidos acima permite tecer consideração que são comuns a todos os locais estudados, a despeito de suas particularidades.

Em primeiro lugar, há a tendência de que, no começo da noite, a taxa de resfriamento observada é próxima da taxa prevista pelo modelo seco ($0,9^{\circ}\text{C/h}$) e, com o passar do tempo, conforme a umidade relativa do ar aumenta ao longo da noite, a taxa de resfriamento diminui, se afastando da prevista pelo modelo seco. Isso ocorre em praticamente todos os gráficos apresentados.

Na segunda metade da noite, conforme comentado, a taxa de resfriamento diminui. Tal comportamento acontece concomitantemente com o aumento da umidade relativa. Observando os gráficos, é possível estabelecer um limite para valores de umidade relativa, tal que, abaixo desse valor limite, pode-se considerar que o modelo seco é uma boa aproximação. Pode-se, assim, observar que o termo “seco” se refere a valores de umidade abaixo de 80%, conforme indicam as figuras 38g, 38h, 38i, 39r, 40s, 40u, 42ae, 42af, 42ag, 42ah e 44ar.

Em particular, quando a umidade relativa está abaixo dos 80% no início da noite, existe uma forte tendência do resfriamento se aproximar de $0,9^{\circ}\text{C/h}$, pelo menos nas primeiras horas.

Em contrapartida, se a umidade é alta (acima de 90%), existe uma tendência para valores muito baixos de resfriamento, potencialmente chegando a valores desprezíveis – condição de temperatura do ar aproximadamente constante até o raiar do dia. Tal efeito pode ser observado nas figuras 37c, 38L, 41y, 41ab, 42ai, 42aj, 43al, 43am, 43ap, 44as, 44av e 46bf.

Observa-se uma tendência geral que pode ser expressa em termos simples: se a umidade relativa do ar é “baixa” (menor que 80%), o resfriamento segue o previsto pelo modelo seco; se a umidade relativa do ar for alta (maior que 90%) a tendência é que o resfriamento atinja valores extremamente baixos.

Tal comportamento parece ser válido para todos os locais estudados, embora eles se diferenciem significativamente em diversos aspectos. Por exemplo, S. Gabriel da Cachoeira apresenta tipicamente valores de umidade relativa estatisticamente mais altos que os demais sistemas. Consequentemente, deve apresentar valores de temperatura noturna que são bem mais estáveis. Por outro lado, locais tais como

Fazenda Miranda e Baía das Pedras estão sujeitos a secas perceptíveis e, nessa estação, têm a tendência de apresentar um resfriamento noturno mais intenso, conforme prevê o modelo seco, resultando numa menor temperatura no final da noite.

Uma possível explicação para tal relação entre resfriamento noturno e umidade pode ser explicado com a hipótese de que, durante a noite, com o aumento da umidade, existe a possibilidade de um processo de microcondensação de água presente no ar. De um modo geral, a evaporação da água do ecossistema pode absorver energia, como é o caso do fluxo de calor latente existente durante o dia. Se o processo inverso ocorrer (condensação), haverá liberação de energia para o ar (que anteriormente estava na forma de energia cinética das moléculas de vapor d'água).

Vamos supor que, durante a noite, exista a possibilidade de que duas moléculas de água se unam formando um cluster de duas moléculas. Supondo-se que a energia de ligação correspondente seja da ordem de 2 eV ($E = 3,2 \times 10^{-19} \text{ J}$). O número de clusteres que devem ser formados por hora, para anular o resfriamento seco de $0,9 \text{ }^{\circ}\text{C/h}$, de forma a manter a taxa de resfriamento em valores mínimos ($< 10^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C/h}$), conforme observado nas noites úmidas, pode ser calculado levando-se em conta que a energia a ser cedida ao ar corresponde a $mc\Delta T$, onde m é a massa do ar considerado, c o calor específico e ΔT a variação de temperatura.

Considerando $\Delta T = 0,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $m = 1 \text{ kg}$ (a massa correspondente a aproximadamente 1 m^3 de ar) e $c = 0,24 \text{ cal/g} = 1000 \text{ J/kg}$, temos que o número de clusteres (n) a serem formados por hora por metro cúbico de ar é:

$$n \times 3,2 \times 10^{-19} = 1 \times 1000 \times 0,9 \Rightarrow n = 3 \times 10^{21} \text{ clusteres por metro cúbico por hora.}$$

Esse valor, contudo, é muito menor (três ordens de grandeza) que os valores típicos das concentrações das moléculas de vapor d'água no ar, os quais se encontram na faixa de aproximadamente 1 mol/m^3 . Esse resultado tem dois aspectos importantes: Primeiro, n é pequeno o suficiente para não ser detectado pelos sensores, ou seja, a conversão dessa quantidade de moléculas de vapor d'água em cluster com duas moléculas de H_2O é tão pequena que os sensores de concentração de vapor d'água não

o notariam (a menos que tivessem uma precisão melhor que **0,1%**) e esse fenômeno não poderia ser computado como um fluxo de calor latente.

Segundo, e mais importante, uma conversão de um número de moléculas tão pequeno quanto esse já é suficiente para ser determinante na termodinâmica do sistema. Levando-se em conta os resultados desse trabalho, é possível que, em condições de alta umidade (**> 90%**) a possibilidade da junção de duas moléculas de água, liberando energia para o ar pode ser considerada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foram reunidos dados de cinco locais diferentes, correspondentes ao período de um ano. A análise dos comportamentos dos valores diários máximos e mínimos de temperatura do ar e umidade relativa, bem como a hora do dia em que ocorrem e a época do ano, demonstrou algumas uniformidades importantes, como o horário em que se dá o menor valor diário da temperatura e a menor variabilidade dessa grandeza nas condições de maior umidade. Embora esse comportamento genérico é de certa forma conhecido, neste trabalho houve a possibilidade de um avanço no sentido de compreender quantitativamente essa dinâmica, independente de qual ecossistema se tratasse.

Em primeiro lugar, o estudo da dinâmica da temperatura ao longo de um mês medida em Fazenda Maracaí, permitiu a estimativa do parâmetro de extinção, ϵ , que levou a previsão teórica da taxa de resfriamento em condições de baixa umidade (**0,9 °C/h**), que se mostrou universal, no sentido de ser válido para todos os locais estudados, corroborando com os resultados experimentais coletados. Em segundo lugar, se observou que, independentemente do local, em condições de alta umidade (**> 90%**) a taxa de resfriamento cai a valores muito baixos (**$\ll 0,1$ °C/h**), que contribui para que a temperatura se mantenha em valores pouco alterados durante a noite, após a umidade atingir essa faixa.

Esse resultado é muito importante para a área de micrometeorologia de ecossistemas tropicais, uma vez que, sob a hipótese de que a temperatura se mantém devido à formação de microclusteres de moléculas de **H₂O**, significa que fenômenos que não podem ser computados como fluxos de calor latente (por ser pequeno o

número de moléculas que participam desse processo) e nem de calor sensível (pelo fato da temperatura variar muito pouco nessas condições) interferem definitivamente na termodinâmica local. Possivelmente, este se apresenta como um caminho a ser mais estudado no sentido de explicar o não fechamento do balanço de energia nos ecossistemas (Foken, 2008).

Outro aspecto que deve ser levado em conta para a confecção de um modelo matemático que descreva razoavelmente a dinâmica noturna da temperatura ar em função da umidade relativa é o chamado **fator verde**: se, de fato, a água tem uma participação tão efetiva na variação da temperatura, deve-se considerar o papel regulador exercido pela vegetação, uma vez que, essencialmente, a água é transferida para a atmosfera por meio das plantas (considerando, é claro, uma contribuição da evaporação direta do solo).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÁMOLI, J.; MACÊDO, J.; AZEVEDO, L. G.; NETTO, J. M. Caracterização da região dos Cerrados. In: Embrapa-Cpac (Ed.). **Solos dos Cerrados: Tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1987, p.33-98.

AGUIAR, R. G. **Balanço de Energia em Ecossistema Amazônico por Modelo de Regressão Robusta com Bootstrap Validação Cruzada**. Cuiabá, 2013, 85 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

ANDRADE, N. L. R. **Fluxo de calor latente em uma floresta tropical da Amazônia: análise de séries temporais com waveletse do produto MOD16**. 2013.168 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, UniversidadeFederal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

ANDREAE, M. O.; ARTAXO, P.; BRANDÃO, C.; CARSWELL, F. E.; CICCIOLI, P.; COSTA, A. L.; CULF, A. D.; ESTEVES, J. L.; GASH, J. H. C.; GRACE, J.; KABAT, P.; LELIEVELD, J.; MALHI, Y.; MANZI, A. O.; MEIXNER, F. X.; NOBRE, A. D.; NOBRE, C.; RUIVO, M. L. P.; SILVA-DIAS, M. A.; STEFANI, P.; VALENTINI, R.; JOUANNE, J.; WATERLOO, M. J. Biogeochemical cycling of carbon, water, energy, trace gases, and aerosols inAmazonia: The LBA-EUSTACH experiments. **Journal of Geophysical Research**. v. 107, p. 33-1 – 33-25, 2002.

ARRUDA.J.C. **Estudo do fechamento do balanço de energia pelo método de covariância de vórtices turbulentos em uma floresta de transição em Mato**

Grosso. Cuiabá, 2011,135f.Tese(Doutorado em Física Ambiental); Instituto de Física , Universidade Federal de Mato Grosso.

ARTAXO, P. Break down boundaries in climate research. **Nature**, v. 481, p. 239, 2012.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. Ed.Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2007.

BASTOS, T. X. **Sistema de Produção da Pimenteira-do-reino**. Sistemas de Produção, EMBRAPA. Versão Eletrônica Dez, 2005.

BRASIL, A. E.; ALVARENGA, S. M. **Relevo. in: Geografia do Brasil – Região Centro Oeste, volume 1**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. Rio de Janeiro, 1989.

BUSTAMANTE, M. M. C.; KELLER, M.; SILVA, D. A. Sources and sinks of trace gases in amazonia and the cerrado. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; DIAS, P. S. (Org.). **Amazonian and global change**. Washington: American Geophysical Union, 2009. p. 337-54.

COHEUR, P. F. C.; CLERBAUX, C.; CARLEER, M.; FALLY, S.; HURTMANS, D.; COLIN, R.; HERMANS, C., VANDAELE, A. C.; BARRET, B.; MAZIÈRE, M.; BACKER, H. Retrieval of atmospheric water vapor columns from FT visible solar absorption spectra and evaluation of spectroscopic databases. **Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer**, vol. 82, p.133-150, 2003.

BROTZGE, J. A.; CRAWFORD, K. C. Examination of the surface energy budget: a comparison of eddy correlation and bowen ratio measurement systems. **Journal of Hidrometeorology**, v. 4, p. 160-78, 2003.

COSTA, M. H.; YANAGI, S. N. M.; SOUZA, P. O. J. P.;RIBEIRO, A.; ROCHA, E. J. P. Climate change in Amazonia caused by soybean cropland expansion, as compared to caused by pastureland expansion. **Geophysical Research Letters**, v. 34, p. L07706 1-4, 2007.

COSTA, M. H.; PIRES, G. F. Effects of Amazon and Central Brazil deforestation scenarios on the duration of the dry season in the arc of deforestation. **International Journal of Climatology**, v.30, p.1970-1979, 2010.

CULF, A. D.; FISCH, G.; MALHI, Y.; NOBRE, C. A. The influence of the atmospheric boundary layer on carbon dioxide concentrations over a tropical forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 85, p. 149-58, 1997.

CULF, A. D.; FOKEN, T.; GASH, J. H. C. The energy balance closure problem. In: KABAT, P. et al. (Org). **Vegetation, water, humans and the climate: a new perspective on an interactive system**. Berlin: Springer, 2004. p. 159-66.

CURADO, L.F.A., RODRIGUES, T.R., BIUDES, M.S., DE PAULO, S.R., DE PAULO I.J.C., NOGUEIRA, J.S. **Estimativa Sazonal da Emissividade Atmosférica Através da Equação de Brutsaert no Norte do Pantanal Mato-Grossense**. *Ciência e Natura*, Vol.33, No.2, 2011, pp.167-180.

DALMAGRO, H.J. **Capacidade Fotossintética de duas espécies invasoras do Pantanal e do Cerrado**, 2012. 77 p. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

DA CUNHA, C.N., JUNK, W.J. The impact of Flooding on Distribution of woody plants communities along in the Pantanal of Poconé, Mato Grosso, Brazil. **Int. J. Ecol. Environ. Sci.**, v.27, n.525, p.63-70, 2000.

DA CUNHA, C.N.; JUNK, W.J. Year-to-year changes in water level drive the invasion of *Vochysia divergens* in Pantanal grasslands. **Appl. Veg. Sci.**, v.7, p.103110, 2004.

DAMASCENO-JUNIOR, G. A.; SEMIR, J.; SANTOS, F. A. M.; LEITÃO FILHO, H. F. Structure, distribution of species and inundation in a riparian forest of Rio Paraguai, Pantanal, **Brazil. Flora** 200, v. 2, p. 119-135, 2005.

DAVIDSON, E. A.; ARAÚJO, A. C. de; ARTAXO, P.; BALCH, J. K.; BROWN, F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; COE, M. T.; DeFRIES, R. S.; KELLER, M.; LONGO, M.; MUNGER, J. W.; SCHROEDER, W.; SOARES-FILHO, B. S.; SOUZA Jr, C. M.; WOFSY, S. C. The Amazon basin in transition. **Nature**, v. 481, p. 321-8, 2012.

DESSLER, A. E.; WONG, S. Estimates of the Water Vapor Climate Feedback during El Niño-Southern Oscillation. **Journal of Climate**, vol. 22, p. 6404-6412, 2009.

DINIZ, G.; FONSECA, M.; JR CAMPELO, J. H. Análise harmônica do regime de precipitação em duas localidades da baixada cuiabana. **Biomatemática**, v.18, p.3748, 2008.

ECK, T. F.; HOLBEN, B. N.; REID, J. S.; O'NEILL, N. T.; SCHAFER, J.; DUBOVIK, O.; SMIRNOV, A.; YAMASOE, M.A.; ARTAXO, P.; High aerosol optical depth biomass burning events: a comparison of optical properties for different source regions. **Geophysical Research Letters**, v.30, n.20, p.2.035-2.048, 2004.

FOKEN, T. (2008). **The Energy Balance Closure Problem: An Overview**. Ecological Applications, 18(6), 1351-1367.

FORSTER, P. M. F.; COLLINS, M. Quantifying the water vapor feedback associated with post-Pinatubo global cooling. **Climate Dynamics**, vol. 23, p. 207-214. 2004.

GARCIA, E. A. C., CASTRO, L. H. R. “**Análise da frequência de chuva no Pantanal Mato-Grossense**”. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 21, n. 9, p. 909925, 1986.

GIRARDI, G. Emissões de carbono do Brasil podem ter caído 35%, aponta estimativa. Estadão, São Paulo, 28 nov. 2012. Disponível em: <www.estadao.com.br/noticias/vidae,emissoes-de-carbono-do-brasil-podem-tercaido-35-aponta-estimativa,966578,0.htm>.

GOMES, J. B. **Conversão de florestas tropicais em sistemas pecuários na Amazônia**: quais são as implicações no microclima da região? 2011. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia-Campus de Ji-Paraná, Ji-Paraná, 2011.

HASENACK, H.; CORDEIRO, J. L. P.; HOFMANN, G. S. **O Clima da RPPN SESC-Pantanal**. Porto Alegre, UFRGS, 27 p., 2003.

HAYHOE, S. J.; NEILL, C.; PORDER, S.; McHORNEY, R.; LEFEBVRE, P.; COE, M. T.; ELSENBEER, H.; KRUSCHE, A. V. Conversion to soy on the Amazonian agricultural frontier increases streamflow without affecting stormflow dynamics. **Global Change Biology**, v. 17, p. 1821-33, 2011.

HODNETT, M. G.; OYAMA, M. D.; TOMASELLA, J.; MARQUES FILHO, A. O. Comparisons of long-term soil water storage behaviour under pasture and forest in three areas of Amazonia. In: GASH, J.H.C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L.(Org.). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley, 1996, p. 57-77.

HOUGHTON, J. T., Y. DING, D. J. GRIGGS, M. NOGUER, P. J. VAN DER LINDEN, X. DAI, K. MASKELL, AND C. A. JOHNSON, E. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press, 881 pp, 2001.

HOUGHTON, J. The physics of atmospheres. Cambridge University Press, 320 pp, 2002.

IBAMA. **Plano de prevenção e combate aos incêndios florestais na reserva biológica do Jaru** (2006-2007). Ji-Paraná, 2006. 16 p.

IBGE. **Estatística da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE. 2013(a). Acessível em www.ibge.gov.br.

IBGE. **Estatística da Produção Pecuária**. Rio de Janeiro: IBGE. 2013(b). Acessível em www.ibge.gov.br.

IBGE. **Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE. 2004. Acessível em www.ibge.gov.br.

LAPOLA, D. M.; SCHALDACH, R.; ALCAMO, J. Impacts of climate change and the end of deforestation on land use in the Brazilian Legal Amazon. **Earth Interactions**, v.15, n.16, p.1-19, 2011.

LEWIS, S. L.; BRANDO, P. M.; PHILLIPS, O. L.; VAN DER HEIJDEN, G. M. F.; NEPSTAD, D. The 2010 Amazon Drought. **Science**, v.331, p.554, 2011.

LUIZÃO, F. J.; FEARNSIDE, P. M.; CERRI, C. E. P.; LEHMANN, J. The maintenance of soil fertility in Amazonian managed systems. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; DIAS, P. S. (Org.). **Amazonian and global change**. Washington: American Geophysical Union, 2009. p. 311-36.

MÉIO, B. B.; FREITAS, C. V.; JATOBÁ, L.; SILVA, M. E. F.; RIBEIRO, J. F.; HENRIQUES, R. P. B.; Influência da flora das florestas Amazônica e Atlântica na vegetação do cerrado sensu stricto. **Revista Brasileira de Botânica**, v.26, p.437-444, 2003.

MIRANDA, E. J; PRIANTE FILHO, N.; PRIANTE FILHO, P. C.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; SULI, G. I.; FRITZEN, C. L.; NOGUEIRA, J. de S.; VOURLITIS, G. L.. Maximum leaf photosynthetic lights response for three species in a transitional tropical Forest in Southern Amazonian. **Revista Bras. de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, nº 1, p. 164-167, 2004.

- MINSCHWANER, K.; DESSLER, A. E.; AENGPHOKHAI, P. S. Multimodel Analysis of the Water Vapor Feedback in the Tropical Upper Troposphere. **Journal of Climate**, vol. 19, p. 5455-5464, 2006.
- MOREIRA, M. L. C.; VASCONCELOS, T.N.N. Mato Grosso: solos e paisagens. Cuiabá: Entrelinhas, 2011.
- MOTTA, P. E. F.; CARVALHO-FILHO, A.; KER, J. C.; PEREIRA, N. R.; CARVALHO, JR. W. E.; BLANCANEUX, P. **Relações solo-superfície geomórfica evolução da paisagem em área do Planalto Central Brasileiro**. Pesquisa Agropecuária brasileira, v. 37, p. 869-878, 2002.
- MOTTA, R. S.; HARGRAVE, J.; LUEDEMANN, G.; GUTIERREZ, M. B. S. **Mudança do Clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios**. Secretaria de Assuntos Estratégicos - SAE. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA: Brasília, DF, 2011. 438p.
- McCLAIN, M. E. **The Ecohydrology of South American Rivers and Wetlands**. IAHS Press: Wallingford, UK. 2002. 209p.
- MCMILLEN, R. T. An eddy correlation technique with extended applicability to nonsimple terrain. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 43, n. 3, p. 231-245, 1988.
- NICOLIS, G. & Prigogine, I. (1989), **Exploring complexity**, Freeman.
- NOBRE, C. A. et al. Observations of the atmospheric boundary layer in Rondônia. In: GASH, J. H. C. et al. (Eds.) **Amazonian Deforestation and Climate**. J. M. Wiley and Sons, 1996. p. 413-424.
- NUNES DA CUNHA, C., JUNK, W. J., “Year-to-year Changes in Water Level Drive the Invasion of *Vochysia divergens* in Pantanal Grasslands”. **Applied Vegetation Science**, v. 7, p. 103-110, 2004.
- OLSON, D., DINERSTEIN, E., CANEVARI, P., DAVIDSON, I., CASTRO, G., MORISSET, V., ABELL, R., TOLEDO, E., **Freshwater Biodiversity of Latin America and Caribbean: A Conservation Assessment**. In: Report of a Workshop on the Conservation of freshwater Biodiversity in Latin America and Caribbean. Biodiversity Support Program. Washington, DC: World Wildlife Fund, Inc., ISBN 1887531-29-7, p.70, 1998.

PARMENTIER, F. J. W.; CHRISTENSEN, T. R.; SORESENSEN, L. L.; RYSGAARD, S.; MCGUIRE, D.; MILLER, P. A.; WALKER, D. A. The impact of lower sea-ice extent on Arctic greenhouse-gas Exchange. **Nature Climate Change**, vol. 3, p. 195-202. 2013.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia. Fundamentos e Aplicações Práticas**. 1ª ed. Guaíba-RS: Livraria e Editora Agropecuária, p.478, 2002.

PICOLI, F. Do Extrativismo ao Agronegócio das Monoculturas de Mercado na Amazônia Norte Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Estudos LatinoAmericano**, v.1, n.2, p.298-303, 2011.

PICOLI, F. **O capital e a devastação da Amazônia**. 1. ed. São Paulo: Ed. Expressão Popular, 2006. 255p.

PRIANTE FILHO, N.; VOURLITIS, G. L.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. S.; NUNES, P. C.; SANCHES, L.; COUTO, E. G.; HOEGER, W.; RAITER, F.; TRIENWEILER, L. J.; MIRANDA, E. J.; PRIANTE, P. C.; PEREIRA, L. C.; BIUDES, M. S. Comparison of the mass and energy exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon basin during the wet-dry season transition. **Global Change Biology**, v.10, p.863-876, 2004.

QUESADA, C. A.; LLOYD, J.; ANDERSON, L. O.; FYLLAS, N. M.; SCHWARZ, M.; CZIMCZIK, C. I. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. **Biogeosciences**, v. 8, p. 1415-40, 2011.

RANDALL, D. A. **Climate models and their evaluation, in Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Ontributions of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by S. Solomon et al., p. 591- 662, 2007.

RADAMBRASIL. , Brazil: Ministério das Minas de Energia, 1982.

RAO, V. B., CAVALCANTI, I. F. A., HADA, K., “Annual Variation of Rainfall over Brazil and Water Vapor Characteristics over South America”. **Journal of Geophysical Research**, v.101, n.D21, p. 26539-26551, 1996.

- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: Sano, S. M., Almeida, S. P., et al (Ed.). **Cerrado: Ecologia e Flora. Brasília, DF:** Embrapa Cerrado, 2008. v.2,
- ROBINSON,N; **Solar radiation.** Elsevier Publication CO.,, Amsterdam,347p.1996.
- RUMMEL, U.; AMMANN, C.; GUT, A.; MEIXNER, F. X.; ANDREAE, M. O. **Eddy covariance measurements of nitric oxide flux within an Amazonian rain forest.** Journal of Geophysical Research, v. 107, p. 17-1 – 17-9, 2002.
- SALATI, E; SANTOS, A. A.; KLABIN, I. Temas ambientais relevantes. **Estudos Avançados**, v.20, n.56, p.107-127, 2006.
- SODEN, B. J.; HELD, I. M.; COLMAN, R. Quantifying Climate Feedbacks Using Radiative Kernels. **Journal of Climate**, vol. 21, p. 3504-3520, 2008.
- SOUZA, J.L. de e ESCOBEDO, **Balanço de Radiação em cultivo de feijão-vagem com e sem cobertura polietileno.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.32,n.1,p.1-15,1997.
- SCHUEPP, P. H.; LECLERC, M. Y.; MACPHERSON, J. I.; DESJARDINS, R. L.Footprint Prediction of Scalar Fluxes from Analytical Solutions of the Diffusion Equation. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 50, n. 1-4, p. 353-373, 1990.
- SILVA, L. B. **Componentes da dinâmica de CO₂ em floresta semidecídua no norte de Mato Grosso.** Cuiabá, 2010. 74 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.
- SOUZA, C. A.; CUNHA, S. B. Dinâmica das águas no Pantanal Mato-Grossense Pantanal. Mato-grossense. **Revista Ação Ambiental**, v.6, n.26, 2004.
- SOUZA-FILHO, J. D. C.; RIBEIRO, A.; COSTA, M. H.; COHEN, J. C. P.Mecanismos de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta tropical no nordeste da Amazônia. **Acta Amazônica**, vol. 35, p. 223-229, 2005.
- STUDART,T.M.C. Hidrologia, p.2006.
- TORRES, F.T.P e MACHADO, P.J.O, **Introdução à Climatologia.** São Paulo: Cengage Learning 2011, Câmara Brasileira do Livro, SP 2011, Brasil. Impresso no Brasil.
- TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. Meteorologia descritiva: **fundamentos e aplicações brasileiras.** São Paulo: Nobel, 1984.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. 2. ed. Brasília: Pax Gráfica e Editora Ltda., 532 p. 2001.

VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. D. S.; CASEIRO, F. T.; HOLANDA CAMPELO, J. Seasonal variations in the net ecosystem CO₂ exchange of a mature Amazonian transitional tropical forest (cerradão). *Functional Ecology*, v. 15, n. 3, p. 388-395, 2001.

VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. S.; CASEIRO, F.; CAMPELO JÚNIOR, J. H. Seasonal variations in the evapotranspiration of a transitional tropical forest of Mato Grosso, Brazil. **Water Resources Research**, v.38, n.6, p.1094-1104, 2002.

VOURLITIS, GL e HR DA ROCHA. Flux dynamics in the Cerrado and Cerrado-Forest Transition of Brazil. Pages 97-116 in MJ Hill and NP Hanan (eds), **Ecosystem Function in Global Savannas: Measurement and Modeling at Landscape to Global Scales**. CRC, Inc., Boca Raton, FL, USA, 2011.

VAREJÃO, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital 2. Recife, p.449, 2006.

VOURLITIS, G. L.; LOBO, F. D.; LAWRENCE, S.; DE LUCENA, I. C.; PINTO, O. B.; DALMAGRO, H. J.; EUGENIA, C.; ORTIZ, R.; NOGUEIRA, J. D. Variations in Stand Structure and Diversity along a Soil Fertility Gradient in a Brazilian Savanna (Cerrado) in Southern Mato Grosso. *Soil Science Society of America Journal*, v. 77, n. 4, p. 1370-1379, 2013.

VILA DA SILVA, J. S.; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, Número Especial, p.1703-1711, 1998.

VIANELLO, R.L. e ALVES, A.R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Universidade Federal de Viçosa. Imprensa Universitária, Viçosa, 1991.

VIDAL, L. A. **Estudo da dinâmica de variáveis microclimáticas da estação meteorológica de superfície do destacamento de controle do espaço aéreo de Cuiabá**. Cuiabá, 2009. 65p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

WEBB, E. K.; PEARMAN, G. I.; LEUNING, R. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapor transfer. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 106, p. 85-100, 1980.

WEBLER, A. D.; AGUIAR, R. G.; AGUIAR, L. J. G. Características da precipitação em área de floresta primária e área de pastagem no Estado de Rondônia. **Revista Ciência e Natura**, v. esp, p. 55-8, 2007.