



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

Nº de ordem: MET – UFAL – MS - 058

**CARACTERIZAÇÃO SAZONAL DOS BALANÇOS DE RADIAÇÃO E
ENERGIA NO COMPLEXO ESTUARINO-LAGUNAR MUNDAÚ-MANGUABA
(ALAGOAS).**

ALESSANDRO RENÊ SOUZA DO ESPÍRITO SANTO

**Maceió – AL
Agosto, 2009**



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

Nº de ordem: MET – UFAL – MS - 058

**CARACTERIZAÇÃO SAZONAL DOS BALANÇOS DE RADIAÇÃO E
ENERGIA NO COMPLEXO ESTUARINO-LAGUNAR MUNDAÚ-MANGUABA
(ALAGOAS).**

ALESSANDRO RENÊ SOUZA DO ESPÍRITO SANTO

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, para obtenção do título de Mestre em Meteorologia – Área de concentração em Processos de Superfície Terrestre.

Orientador: **Prof. Dr. Marcos Antônio Lima Moura**

Maceió – AL
Agosto, 2009

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

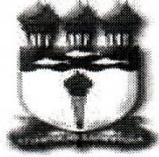
S237c Santo, Alessandro Renê Souza do Espírito.
Caracterização sazonal dos balanços de radiação e energia no Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba (Alagoas) / Alessandro Renê Souza do Espírito Santo. – Maceió, 2009.
xiv, 76f. : il., graf., tabs.

Orientador: Marcos Antônio Lima Moura.
Dissertação (Mestrado em Meteorologia: Processos de Superfície Terrestre) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2009.

Bibliografia: f. 60-70.
Anexos: f. 71-76.

1. Micrometeorologia. 2. Radiação solar. 3. Manguezal. 4. CELMM. 5. Saldo de radiação solar. I. Título.

CDU: 551.521.1



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

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-058.

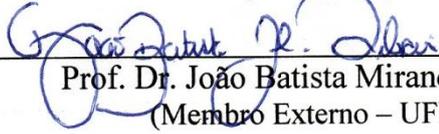
“Caracterização Sazonal dos Balanços de Radiação e Energia no complexo Estuarino Lagunar Mundaú/Manguaba (Alagoas)”

Alessandro Renê Souza do Espírito Santo

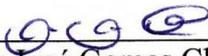
Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

Prof. Dr. Marcos Antônio Lima Moura
(Orientador)



Prof. Dr. João Batista Miranda Ribeiro
(Membro Externo – UFPA)



Dr. José Gomes Chaves
(Membro interno)

Maceió – AL
Agsoto/2009

DEDICATÓRIA

A Deus, por todas as graças concedidas.

Aos meus pais, José Carlos do Espírito Santo e Selma Souza do Espírito Santo, e ao meu irmão, Emerson Renan Souza do Espírito Santo, por mais essa realização profissional em minha vida.

A toda minha Família, de forma carinhosa as minhas avós, Osmarina Gabriela do Espírito Santo e Dulcelina dos Santos de Souza, que sempre me apoiaram e, independente da distância, sempre me deram forças para buscar um bem maior.

A Flávia Dias Rabelo, essa pessoa especial em minha vida, que sempre me apoiou e incentivou a superar todos os desafios a fim de chegar ao final dessa jornada acadêmica.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcos Antônio Lima Moura, por toda a ajuda e orientação ministrada no período de minha formação, evidenciando sempre a necessidade do aperfeiçoamento e nos instigando a sempre melhorar em nossas atividades científicas.

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Alagoas – FAPAL, pelo apoio ao fornecer os subsídios necessários para a conclusão de minha Pós-Graduação.

A todo o corpo docente do Instituto de Ciências Atmosféricas da UFAL, pelo auxílio em minha formação acadêmica para obtenção do título de Mestre em Meteorologia. E de forma particular, ao Prof. Dr. Manoel da Rocha Toledo Filho e Prof. Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion pela ajuda nos momentos finais de conclusão do curso.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. João Batista Miranda Ribeiro e Prof. Dr. José Gomes Chaves, pela colaboração e disponibilidade.

A PROPEP-UFAL, pelo auxílio fornecido no período final de conclusão do curso. Assim como, a Marineide de Almeida, secretária da PROPEP, pela ajuda e excelente prestação de serviço.

A todos os meus amigos que sempre estiveram torcendo pelo meu sucesso, de maneira carinhosa a Ana Maria Dias pela ajuda e pelos conselhos, assim como aos amigos que adquiri na UFAL, em especial aos de minha turma, pois foi um grupo que vivenciou comigo todas as diversidades e alegrias da vida acadêmica, me ajudando e incentivando de diferentes maneiras nessa instituição.

E a todos aqueles que me ajudaram, de alguma maneira, na confecção desse trabalho.

A todos, muito obrigado!

PENSAMENTOS

Não me arrependo nem um pouco
Sonhei muitos sonhos que nunca se tornaram realidade,
Eu os vi desaparecerem ao amanhecer.
Mas se concretizou o suficiente de meus sonhos
Para fazer-me continuar a sonhar.
Fiz muitas orações para as quais, ao que parecia, nenhuma resposta viria
Não obstante, esperei com paciência e por muito tempo.
Mas veio o suficiente de respostas para minhas orações
Para fazer-me continuar a orar.
Plantei muitas das sementes que caíram à beira do caminho,
Para que os pássaros se alimentassem.
Mas peguei em minhas mãos o suficiente de trigo dourados
Para fazer-me continuar a plantar.
Bebi do cálice da frustração e da dor,
E passei muitos dias sem uma canção.
Mas bebi o suficiente do néctar das rosas da vida
Para fazer-me querer continuar a viver.

Howard Goodman

“O destino não é uma questão de sorte; é uma questão de escolha.

Não é algo que se espera, mas algo a ser alcançado.”

William Jennings Bryan

SANTO, Alessandro Renê Souza do Espírito. Caracterização Sazonal dos Balanços de Radiação e Energia no Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba (Alagoas). Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Lima Moura. Maceió-AL, ICAT/UFAL, 2009. 76p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia).

RESUMO

O Brasil é o segundo país com a maior área de mangues em seu território no mundo e o primeiro nas Américas. Conhecer cada vez mais a interação desse ecossistema com a atmosfera é importante, já que não existe um grande acervo de artigos meteorológicos sobre o assunto, principalmente pelo fato de que as degradações ambientais modificam drasticamente o microclima desse ecossistema. Sendo assim, é essencial o estudo desse ambiente no seu estado ainda preservado. Como objetivo principal deste trabalho, caracterizou-se a variação sazonal do Saldo de Radiação (R_n) e as componentes do Balanço de Radiação no manguezal do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (Maceió-AL), localizado no município de Marechal Deodoro, dentro da área de Proteção Ambiental (APA) da Ilha de Santa Rita, situada entre as latitudes de $9^{\circ}37'30''$ e $9^{\circ}47'30''$ S e as longitudes $035^{\circ}45'00''$ e $035^{\circ}55'00''$ W, no período de outubro de 2004 a outubro de 2005. Os registros mostram uma grande variação entre as estações seca e chuvosa, no que se refere os valores médios máximos de R_n , tal fato é decorrente, principalmente, da grande variação sazonal da Radiação global (R_g), da qual apresenta uma grande dependência. Foi percebido uma redução sazonal no R_n em torno de 44%, variando de aproximadamente $800\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, durante a estação seca, para menos de $450\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ na estação chuvosa. A sazonalidade do R_n também pode ser compreendida através do balanceamento entre ondas curtas e ondas longas, onde o Balanço de ondas curtas (S_n) denotou uma queda por volta de 44%, cerca de $860\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ para menos de $480\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, enquanto que o balanço de ondas longas (L_n) demonstrou um aumento sazonal na energia perdida por ondas longas no época seca, variando aproximadamente 33,3% entre as estações. Por meio dos dados coletados, geraram-se equações, com R^2 superiores a 0,8, possibilitando à estimativa do R_n em função do R_g e do S_n , ao longo do ano.

Palavras-Chave: Micrometeorologia, Radiação solar, Manguezal, CELMM, Saldo de Radiação.

SANTO, Alessandro Renê Souza do Espírito. Seasonal characterization of the Net Radiation and energy balance on the Mundaú-Manguaba Estuary-Lagunar Complex (Alagoas). Adviser: Prof. Dr. Marcos Antônio Lima Moura. Maceió-AL, ICAT/UFAL, 2009. 76p. Dissertation (Master in Meteorology).

ABSTRACT

The largest Brazilian area of mangroves is the second in the world and the first of the Americas. The knowledge of interaction this ecosystem with the atmosphere is important, because haven't a lots of meteorological papers about this subject, especially by the fact that environmental degradation modifies the ecosystem microclimate. Therefore, the study of this environment is essential in it's still preserved form. The main objective of this work was to characterize the seasonal variation of the Net Radiation (***R_n***) and their components in the mangrove of the Mundaú-Manguaba Estuary-Lagunar Complex (Maceió-Al), located in Marechal Deodoro city, inside the Santa Rita Island Environmental Protection Area, situated between latitudes of 9°37'30'' and 9°47'30''S and longitudes of 035°45'00'' e 035°55'00''W, during the period of October of 2004 to October of 2005. The measures show a great variation between dry and rainy season. The medium maximum values of ***R_n***, is decurrent of the great seasonal variation of the global Radiation (***R_g***), of which presents a great dependence. It was noticed a seasonal reduction in of 44% ***R_n***, varying of approximately 800 W.m⁻², during the dry season, for less than 450W.m⁻² in the rainy season. The seasonality of ***R_n*** also can be understood through the balance between short and long waves of the solar energy flow, where the net short wave (***S_n***) showed a fall of 44%, around 860W.m⁻² for less than 480W.m⁻², while net long wave (***L_n***) showed a seasonal increase in the lost energy by long waves in the dry season, ranging 33,3% between the dry and rainy season. Through the collected data, mathematical models had been generated, with R² bigger than 0.8, making possible to the estimate of the ***R_n*** in function of the ***R_g*** and the ***S_n***, throughout the year.

Key Words: Micrometeorology, Solar Radiation, Mangrove, CELMM, Net Radiation.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
PENSAMENTOS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xi
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xii
LISTA DE EQUAÇÕES.....	xiv

	Pág.
1 – INTRODUÇÃO	1
2 – REVISÃO LITERÁRIA	4
2.1 – Ecossistema de Manguezal.....	4
2.2 – Radiação Solar.....	10
2.3 – Balanço de Radiação.....	14
2.4 – Balanço de Energia.....	15
3 – MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1 – Caracterização geral da área de estudo	20
3.2 – Caracterização específica da área de manguezal natural	22
3.3 – Dados coletados na área de estudo.....	22
3.3.1- Parâmetros calculados.....	24
3.3.1.1 – Balanço de Radiação.....	24
3.3.1.2 – Método da Razão de Bowen para estimar <i>LE</i> e <i>H</i>	25
3.3.1.3 – Classificação da Nebulosidade	29
3.4 – Climatologia da Região.....	30
4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1 – Variação sazonal da Radiação global (<i>R_g</i>)	32

4.2 –Variação sazonal do Saldo de Radiação (<i>Rn</i>)	36
4.3 – Sazonalidade das componentes do Balanço de Radiação	41
4.3.1 –Variação sazonal do Albedo (<i>α</i>)	41
4.3.2 –Variação do Balanço de ondas curtas (<i>Sn</i>) e ondas longas(<i>Ln</i>)...	46
4.4 – Estudo de caso: Variação do <i>Rn</i> externo e interno	49
4.4.1 – Variação dos componentes do Balanço de Energia.....	51
4.5 – Estimativa do <i>Rn</i> por meio de equações empíricas.....	53
5 – CONCLUSÕES	58
6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
7 – ANEXOS	71
7.1 - Anexo A - Regressão linear entre o <i>Rn</i> e o <i>Sn</i>	71
7.2 - Anexo B – Layout da Torre micrometeorológica.....	76

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Pág.
Figura 1	7
<p>Distribuição mundial dos manguezais, considerando-se os manguezais com mais de 20 espécies de árvores as linhas contínuas (-), entre 5 e 20 espécies as linhas tracejadas (---) e menos que 5 espécies as linhas pontilhadas (...). Fonte: CHAPMAN (1977).....</p>	
Figura 2	21
<p>Mapa básico do Complexo Lagunar Estuarino Mundaú-Manguaba. Fontes: IBGE, 2003(a); MOURA et al, 2006 (b).....</p>	
Figura 3	31
<p>Comparação entre a Normal climatológica de precipitação (mm) para a cidade de Maceió- AL (1961-2001) e dados coletados na região do experimento (outubro de 2004 a outubro de 2005). Fonte: QUERINO (2006).....</p>	
Figura 4	35
<p>Ciclo anual médio horário do Índice de Transmitância Atmosférica (Kt) (%) no período de outubro 2004 setembro de 2005. Fonte: QUERINO, 2006.....</p>	
Figura 5	36
<p>Variação Sazonal anual da Radiação Solar Global (R_g) média horária (W/m^2) sobre a região de manguezal, no período de outubro 2004 setembro de 2005.....</p>	
Figura 6	38
<p>Variação Sazonal anual do Saldo de Radiação (R_n) médio horário ($W.m^{-2}$), sobre a região de manguezal, no período de outubro 2004 setembro de 2005.....</p>	
Figura 7	45
<p>Variação Sazonal anual do Albedo (α) médio horário (%) sobre a região de manguezal, no período de outubro 2004 setembro de 2005.....</p>	
Figura 8	48
<p>Variação Sazonal anual do Balanço de ondas curtas (S_n) médio horária ($W.m^{-2}$) sobre a região de manguezal, no período de outubro 2004 setembro de 2005.....</p>	
Figura 9	48
<p>Variação sazonal anual do Balanço de ondas longas (L_n) médio horário ($W.m^{-2}$) na região de manguezal, no período de outubro 2004 setembro de 2005.....</p>	

Figura 10	Diferença entre o Saldo de Radiação (Rn) médio mensal horário externo e interno em outubro de 2005.....	50
Figura 11	Varição média horária dos componentes do Balanço de Energia no interior do manguezal no mês de outubro de 2005.....	53
Figura 12	Regressão linear entre o Rn e o Rg para o período seco (a) e chuvoso (b).....	56
Figura 1A	Regressão linear entre o Rn e o Sn para os meses de outubro a dezembro de 2004.....	71
Figura 2A	Regressão linear entre o Rn e o Sn para os meses de janeiro a março de 2005.....	72
Figura 3A	Regressão linear entre o Rn e o Sn para os meses de abril a junho de 2005.....	73
Figura 4A	Regressão linear entre o Rn e o Sn para os meses de julho a setembro de 2005.....	74
Figura 5A	Regressão linear entre o Rn e o Sn para outubro de 2005.....	75
Figura 1B	Layout da altura dos instrumentos na torre da área de manguezal.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabelas		Página
Tabela 1	Equações empíricas para estimar o Saldo de Radiação (Rn^{**}) obtidos através da regressão linear entre o Rn e o Sn ; (a) coeficiente angular; (b) coeficiente linear; (R^2) coeficiente de determinação; albedo (α) ; (mês') ano 2004; (mês'') ano 2005.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviaturas

ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
CELMM	Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú–Manguaba
CL	Dia com céu limpo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
FAPEAL	Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Alagoas
IAI	American Institute for Global Change Research
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IAF	Índice de área foliar
IMA	Instituto do Meio Ambiente
LBA	Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia
NEB	Nordeste do Brasil
NB	Dia nublado
PN	Dia parcialmente nublado
RBLE	Rondonia Boundary Layer Experiment
SERHI	Secretaria de Estado de Recursos Hídricos e irrigação
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
ZEEC/AL	Zoneamento Ecológico-Econômico da Zona Costeira do Estado de Alagoas

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos

α	Albedo ou coeficiente de reflexão para a radiação de ondas curtas	[adimensional]
β	Razão de Bowen.....	[adimensional]
γ	Coeficiente psicrométrico.....	[hPa.K ⁻¹]
δ	Declinação solar.....	[°]
ϕ	Latitude local.....	[°]
ρ	Densidade do ar.....	[kg.m ⁻³]
c_p	Calor específico do ar	[J.kg ⁻¹ .k ⁻¹]
e	Pressão de vapor d'água do ar.....	[hPa]
e_s	Pressão de saturação do vapor d'água do ar.....	[hPa]
E_o	Fator correção da excentricidade da orbita da terra.....	[adimensional]
G	Fluxo de calor no solo.....	[W.m ⁻²]
H	Fluxo de calor sensível.....	[W.m ⁻²]
H^*	Ângulo horário.....	[°]
K_H	Coeficiente de transporte turbulento para o ar.....	[m ² .s ⁻¹]
K_w	Coeficiente de transporte turbulento para umidade.....	[m ² .s ⁻¹]
K_t	Índice de Transmitância Atmosférica.....	[adimensional]
LE	Fluxo de calor latente.....	[W.m ⁻²]
Ln	Balanco de ondas longas.....	[W.m ⁻²]
P	Energia usada nos processos fotossintéticos.....	[W.m ⁻²]
q	Umidade específica.....	[g.kg ⁻¹]
R_a	Constante específica do ar seco	[J.kg ⁻¹ .k ⁻¹]
Ra	Radiação de onda longa proveniente da atmosfera.....	[W.m ⁻²]
Rg	Radiação Solar Global incidente.....	[W.m ⁻²]
Rn	Saldo de Radiação	[W.m ⁻²]
R_o	Radiação solar no topo da atmosfera.....	[W.m ⁻²]
Rr	Radiação Solar de ondas curtas refletida pela superfície.....	[W.m ⁻²]
Rs	Radiação de onda longa emitida pela superfície.....	[W.m ⁻²]
S_o	Constante solar.....	[W.m ⁻²]
S	Energia armazenada na biomassa.....	[W.m ⁻²]

<i>Sn</i>	Balanço de ondas curtas.....	[W.m ⁻²]
<i>Ta</i>	Temperatura do ar	[°C]
<i>UR</i>	Umidade relativa do ar.....	[%]
<i>Z*</i>	Ângulo zenital.....	[°]
<i>Z</i>	Altura	[m]
<i>VV</i>	Velocidade do vento	[m.s ⁻¹]

LISTA DE EQUAÇÕES

Equações		Pág.
Eq.1	Balanco de Radiação.....	24
Eq.2	Balanco de radiação de ondas curtas.....	25
Eq.3	Albedo.....	25
Eq.4	Relação R_n versus R_g	25
Eq.5	Relação R_n versus S_n	25
Eq.6	Balanco de energia.....	25
Eq.7	Fluxo de calor sensível.....	26
Eq.8	Fluxo de calor latente.....	26
Eq.9	Coefficiente de transporte turbulento para o ar.....	26
Eq.10	Coefficiente de transporte turbulento para umidade.....	26
Eq.13	Método para calcular a Razão de Bowen	27
Eq.15	Pressão de vapor d'água do ar.....	28
Eq.16	Pressão de saturação do vapor d'água do ar.....	28
Eq.18	Fluxo de calor sensível pelo método de Bowen.....	28
Eq.19	Fluxo de calor latente pelo método de Bowen.....	28
Eq.20	Índice de Transmitância Atmosférica.....	29
Eq.21	Radiação solar no topo da atmosfera.....	29
Eq.22	Fator correção da excentricidade da orbita da terra.....	29
Eq.23	Declinação solar.....	29
Eq.24	Ângulo horário.....	30

1 – INTRODUÇÃO

A grande extensão do litoral brasileiro permitiu o surgimento de diferentes ecossistemas, todos com características e belezas singulares contendo em suas estruturas uma rica diversidade de espécimes de flora e fauna. Dentre eles destacamos o manguezal que possui potencial para a realização de vários estudos em diferentes áreas científicas.

O manguezal é um ecossistema costeiro, típico de regiões tropicais e subtropicais, de solo negro, bem lodoso e profundo, propagando-se nas enseadas, estuários e lagunas de água salgada, sujeito ao regime das marés. É constituído de espécies vegetais lenhosas típicas, além de micro e macro algas, adaptada à flutuação de salinidade e caracterizadas por colonizarem sedimentos predominantemente lodosos, com baixos teores de oxigênio (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995).

Segundo Moraes e Costa (2000), uma das maiores importâncias das florestas de manguezais é a contribuição generativa de várias espécies, servindo de maternidade para diferentes espécies marinhas, assim como para fêmeas de aves como pelicano e o guará que passam a viver nos manguezais durante a época de reprodução. Outros animais fixam sua residência nesses bosques litorâneos para o resto de sua vida. Vários produtos podem ser obtidos dos manguezais, como remédios, álcool, adoçantes, óleos, tanino, etc. Sua área pode ser utilizada para turismo ecológico, educação ambiental, apicultura, piscicultura e criação de outras espécies marinhas, além de sua principal função que é o de ser berçário de várias espécies vegetais e animais.

A maior parte da energia necessária ao manguezal é provida do sol, mas a energia das marés também é empregada pelas plantas, uma vez que os nutrientes são supridos pela ação das marés, que são ainda responsáveis pela remoção dos detritos e pelas trocas gasosas (SCHMIDT, 1988). Geralmente nos manguezais encontra-se pouca variedade de espécies de árvores, mas grande número de indivíduos por espécies, onde essa vegetação possui adaptações morfológicas e fisiológicas para suportar condições adversas (LAMBERTI, 1969).

Apesar de toda importância desse ecossistema para o equilíbrio ecológico e conseqüentemente para o homem, o que se vê atualmente é uma abusiva utilização da área nos espaços litorâneos, colocando em risco e/ou mesmo destruindo-o por meio de processos urbano-industriais de ocupação do litoral, gerando uma exploração predatória de sua fauna e flora e poluição de suas águas, além de os transformarem em aterros e depósitos de lixo (CUNHA, 2000; OLIVEIRA, 2004; ROCHA *et al.*, 2006). As conseqüências são as mais variadas, mas destacam-se aquelas que acarretam na diminuição da produtividade primária, estuarina e costeira e, conseqüentemente, na diminuição da produção pesqueira litorânea, fonte de alimento e de renda para as populações ribeirinhas, entre outras (LIRA *et al.*, 1992).

Uma das grandes questões ambientais da atualidade diz respeito ao desmatamento das áreas de florestas nativas. Assim como em todo mundo, as áreas de manguezais do Estado de Alagoas vêm sendo alvo de constantes pressões sócio-econômicas (QUERINO, 2006). Fato esse que possivelmente influencia diretamente o microclima da região, alterando toda cadeia alimentar e, conseqüentemente, a dinâmica das espécies e o equilíbrio ecológico desse ecossistema (MORAES; COSTA, 2000).

A região de manguezais ainda é pouco estudada, sob o aspecto de variáveis meteorológicas, trazendo sempre dúvidas sobre o comportamento dessas variáveis, em áreas naturais e áreas degradadas. Os efeitos das alterações de manguezais em áreas degradadas influenciam diretamente o microclima da região, uma vez que, sob o ponto de vista meteorológico, é necessário que seja limitada a forma de exploração dos manguezais, pois a conversão de manguezais em áreas degradadas expõe à superfície à radiação solar direta, causando um ambiente adverso à regeneração das espécies, o que pode conduzi-las a intolerância (RIBEIRO *et al.*, 2000).

O Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú – Manguaba (CELMM), além de ser o ambiente mais representativo do litoral médio alagoano, tem um valor socioeconômico muito importante para o Estado de Alagoas e, primordialmente, para a cidade de Maceió, assim a realização contínua de estudos e trabalhos capazes de identificar a real dinâmica do local pode ajudar cada vez mais o aproveitamento máximo dos seus benefícios. Nessas circunstâncias,

torna-se necessário monitorar e analisar os processos físicos naturais que o complexo possui e os exemplos negativos das reações ambientais provocadas pelas atividades antrópicas, com o fim de detectar os impactos sobre o meio ambiente do CELMM (BRASIL-ANA, 2006).

Com isso, a importância das medidas do saldo de radiação em comunidades vegetais é devido a sua influência no crescimento, desenvolvimento e produtividade, sendo o termo mais útil na determinação de perdas d'água e na acumulação da matéria seca pelos vegetais (STANNHILL *et al.*, 1966), pois o balanço de radiação de ambientes e de cultivos naturais e em condições normais de campo, é de fundamental importância nos estudos energéticos regionais e no entendimento das reações genótipo-ambiente, os quais determinarão a produção e a produtividade da vegetação (MONTHEITH; SZEICZ, 1961).

O saldo de radiação em coberturas vegetais é uma variável fundamental no estudo de processos como evapotranspiração, fotossíntese, trocas energéticas com a atmosfera, etc. (ANGELOCCI *et al.*, 2001). No entanto, o estudo da interação da radiação solar com uma superfície vegetada, ainda é um campo de estudo relativamente novo e complexo, o qual exige o entendimento dos fenômenos físicos e fisiológicos que ocorrem em uma área vegetada (MOURA *et al.*, 2000).

A investigação da interação entre ecossistemas de manguezal e os processos físicos na atmosfera irá ampliar o conhecimento sobre as condições micrometeorológicas propícias a sustentabilidade do equilíbrio ecológico nesses ecossistemas, principalmente para a utilização de forma adequada dos recursos fornecidos gratuitamente por esse ambiente.

Com a intenção de estudar um manguezal, com suas características naturais ainda preservadas, já que existe uma crescente degradação desses ecossistemas, ocasionada muitas vezes de forma predatória e ilegal, assim como devido a pouca produção literária a respeito desse ambiente, dentro do âmbito micrometeorológico, motivou-se o desenvolvimento deste trabalho cujo objetivo principal é caracterizar a variação sazonal do saldo de radiação de um manguezal em uma área do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (Maceió-AL).

2- REVISÃO LITERÁRIA

2.1- Ecossistema de Manguezal.

Regiões estuarinas são ambientes de transição entre o continente e o oceano, onde rios encontram o mar, resultando na diluição mensurável da água salgada. Em média, as águas estuarinas são biologicamente mais produtivas do que as do rio e do oceano adjacente, devido às características hidrodinâmicas da circulação que, aprisionando nutrientes, algas e outras plantas, estimulando a produtividade desses corpos de água. Na literatura regional brasileira encontram-se o termo *sistema* (ou *complexo*) *estuarino-lagunar*, para indicar ambientes costeiros amplos de planície que se compõem de uma rede de canais interligados entre si e com o oceano, recebendo descarga fluvial de numerosas fontes (MIRANDA *et al.*, 2002). Tais regiões estão normalmente sujeitas à forte influência da bacia de drenagem do rio e possuem, em regiões equatoriais e tropicais, um tipo característico de vegetação arbóreo-arbustiva denominada manguezal (SCHMIEGLOW, 2004).

Essa comunidade vegetal se estende ao longo da zona costeira delimitada aos processos transicionais do ambiente marinho, estuarino e lagunar (VANNUCCI, 2002; RIBEIRO, 2001). É um ecossistema costeiro formado por vegetação arbórea que se desenvolve em regiões de planícies ou vales alagados, limitados por baixios em estuários e deltas que possuem águas ricas em material em suspensão, com influência de marés e grande variação de salinidade (FIDELMAN, 2001).

A bacia de drenagem é a origem do sistema de rios que suprirá o estuário de água fluvial, sedimentos, substâncias orgânicas e inorgânicas e eventualmente poluentes. A quantidade de água recebida pela bacia depende das condições climáticas, das características do solo, da cobertura vegetal, da ocupação urbana, agrícola e industrial e da evapotranspiração na região de captação, etc. (MIRANDA *et al.*, 2002).

O termo manguezal é freqüentemente usado para se referir tanto à cobertura vegetal como a comunidade que é composta de uma variedade de organismos pertencentes a grupos sistemáticos diferentes incluindo bactérias, fungos, microalgas, invertebrados, aves e

mamíferos. Os manguezais cobrem aproximadamente 60 a 70% da linha costeira nas regiões tropicais e subtropicais. O Brasil, Indonésia e Austrália são os países com maior abundância desse sistema biológico (AKSORNKOAE *et al.*, 1984; HOLGUIN *et al.*, 2001).

As florestas de manguezal são reconhecidas como “ecossistemas-chave” cuja preservação é fundamental para a manutenção de outros ecossistemas maiores e fora de seus limites (FAO, 2007). Trata-se de um ambiente com bom abastecimento de nutrientes, onde, sob os solos lodosos, há uma textura de raízes e material vegetal parcialmente decomposto, chamado turfa. Nos estuários, os fundos lodosos são atravessados por canais de marés (*gamboas*), utilizados pela fauna para os seus deslocamentos entre o mar, os rios e o manguezal (POR, 2007).

São lugares semi-abrigados da ação das ondas, ventos fortes e ressacas, constituindo um ecossistema de baixa energia, mas aberto para receber a água do mar. Por isso é comum se encontrar este ecossistema em regiões estuarinas, lagos, enseadas, baías, barras e reentrâncias costeiras, onde haja encontro de águas de rios com a do mar, ou diretamente expostos à linha da costa. Eles também só ocorrem em pontos da costa onde há depósito de sedimento fino, daí os manguezais estarem sempre associados à lama. Portanto, o manguezal desenvolve-se em solo lamacento rico em matéria orgânica que conferem ao solo altas concentrações de sulfeto com pouco oxigênio e dominado por espécies vegetais típicas, adaptadas as condições específicas deste ambiente (alta salinidade e solo encharcado) (RODRIGUES, 2006).

Estima-se que, em todo o planeta, existam cerca de 162.000 km² de manguezais. Desse total, cerca de 15%, ou seja, 25.000 km², distribuem-se pelo litoral do Brasil (DIEGUES, 1996), ocupando uma fração significativa, em torno de 92% da linha de costa ($\pm 6.800\text{km}$), estendendo-se do extremo norte no Oiapoque, no Estado do Amapá (Lat. 4° 30'N), até seu limite sul na Praia do sonho em Santa Catarina (Lat. 28° 53' S) (UFC, 2005), sendo uma das maiores extensões de manguezais do mundo (POR, 2007). Então a maior concentração de manguezais encontra-se nos litorais do Amapá, Pará e Maranhão, com algumas ocorrências importantes nos estuários do Nordeste, especialmente na Bahia (DIEGUES, 1996).

Segundo Yokoya (1995), as regiões de maior desenvolvimento dos manguezais encontram-se entre os trópicos de Câncer e Capricórnio e ocasionalmente se estendem a regiões com latitude de até 32°N e 39°S, quando apresentam menor desenvolvimento devido ao clima mais rigoroso. O desenvolvimento estrutural máximo dos manguezais tende a ocorrer próximo à linha do equador devido às condições favoráveis de temperatura e umidade mais elevadas. Um fator limítrofe de tolerância de temperaturas, no inverno, situa-se em torno de 16°C entre os meses de janeiro (hemisfério norte) e julho (hemisfério sul) (Figura 1). Os manguezais são limitados pela isoterma de 20°C de temperatura da água do mar, que por sua vez é controlada pelas correntes marinhas e que pode oscilar entre o inverno e o verão (SPALDING *et al.*, 1997).

O maior grau de desenvolvimento dos manguezais seria encontrado associados a determinadas condições ambientes, como por exemplo, temperatura média do mês mais frio superior a 20°C e amplitude térmica anual maior que 5°C (WALSH, 1967); costas livres de ação de ondas e marés violentas (baías rasas e abrigadas, estuários abrigados, lagoas, o lado de ilhas abrigados do vento, canais protegidos); aluvião fina e particulada (substrato mole constituído por silte e argila fina, rica em matéria orgânica); presença de água salgada e uma larga amplitude de marés.

Nos manguezais, as chuvas exercem um importante papel na dissolução dos sais marinhos, baixando o conteúdo de sal acumulado no substrato, mantendo desta forma as espécies nele inseridos, que têm certo limite de tolerância à concentração de sal no substrato, para sobreviver neste ecossistema (RODRIGUES, 2006). Sendo assim, o tipo de água que circunda os manguezais é de fundamental importância para o seu crescimento e desenvolvimento. E, em períodos de precipitação normal, na estação chuvosa, há um aumento da queda das folhas, e na estação seca uma diminuição (SCHMIDT, 1988).

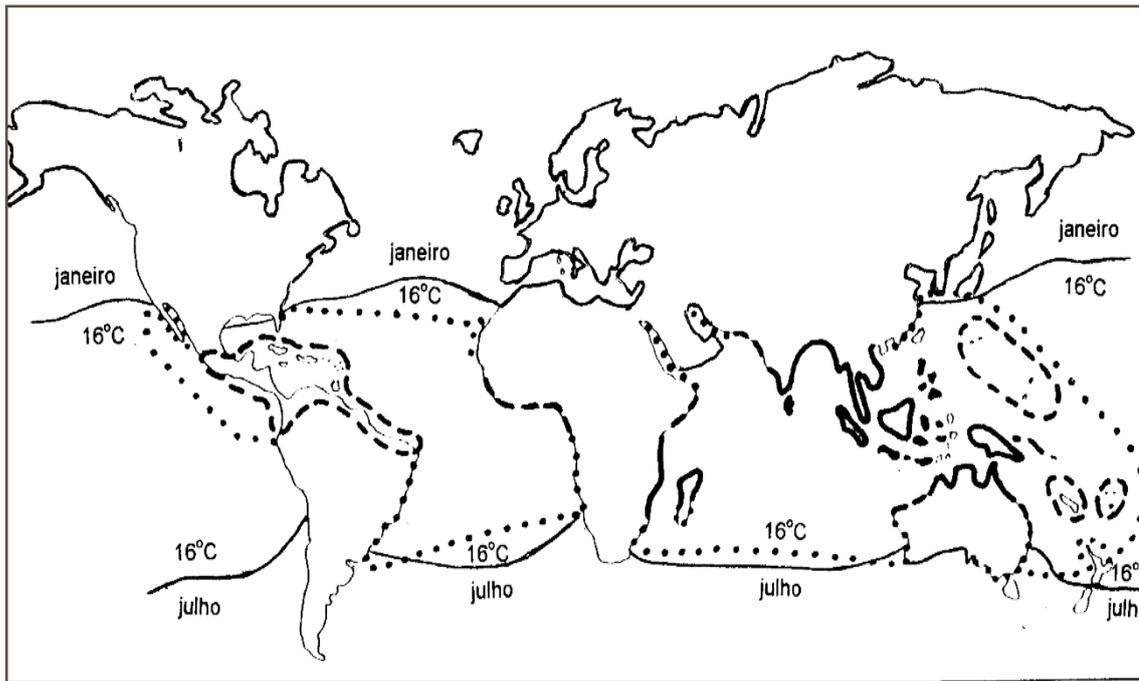


Figura 1 – Distribuição mundial dos manguezais, considerando-se os manguezais com mais de 20 espécies de árvores as linhas contínuas (–), entre 5 e 20 espécies as linhas tracejadas (---) e menos que 5 espécies as linhas pontilhadas (...). Fonte: CHAPMAN (1977).

Todos os elementos encontrados na estrutura física e biológica dos manguezais integram uma conjuntura de variáveis ambientais, em que se destacam os componentes hidrológicos caracterizados nas marés, deflúvios e correntes que influenciam sua inundação e drenagem. Nesse aspecto, as intera oes encontradas no substrato na presença da água e da sedimenta o associada   produtividade foliar, causam diferentes efeitos sobre sua climatologia. Cada um dos componentes, segundo propriedades físicas em rela o a sua intera o com a radia o solar, promove padrões de absor o, reflexão e transmissão de energia, capazes de manter fatores muito próprios de transforma o que incidem sobre o condicionamento micrometeorológico dos bosques de manguezais, especialmente no seu balanço térmico (RODRIGUES, 2006).

A flora dos manguezais possui características específicas que tornam esses ecossistemas funcional e estruturalmente únicos. Características morfológicas e adapta oes das árvores incluem raízes aéreas, dispersão de propágulos através das correntes controladas pelas marés, rápido crescimento de copa, ausência de anéis de crescimento, eficiente mecanismo de reten o de nutrientes, resistência   ambientes salinos, retentor de água e

importante contribuinte no balanço de carbono (ALONGI, 2002). TOMLISON (1986) verificou que as 54 principais espécies de manguezais estão subdivididas em 20 gêneros e 16 famílias. Porém, das 30 espécies que representam a maior parte da comunidade de manguezais, 25 delas correspondem somente a duas famílias: *Avicenniaceae* e *Rhizophoraceae*, que dominam as comunidades de todo o mundo. Já as espécies mais comuns encontradas nos manguezais do litoral brasileiro são: *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), *Lagunculária racemosa* (mangue branco) e *Avicennia Germinans* (mangue preto).

Como o manguezal representa a transição entre a terra e o mar, o que favorece a manutenção e a proteção da linha de costa, sua importância ecológica baseia-se na contribuição para a manutenção do ciclo biológico de muitas espécies da fauna costeira, além de possuir uma biodiversidade composta por espécies vegetais e animais estuarinos típicas, dentre eles se destacam os moluscos como sururu (*Mytella charruana*), ostra (*Crassostrea rhizophorae*), maçunim (*Anomalocardia brasiliiana*), unha-de-velho (*Tagelus plebeius*) e taioba (*Iphigenia brasiliiana*), além dos crustáceos como várias espécies de siris (*Callinectes* spp) e caranguejos (*Cardisoma guanhumi*, *Goniopsis cruentata*) todos com grande importância sócio-econômica (SALLES, 1995).

As áreas de manguezais são, portanto, de extrema importância social para a população ribeirinha, uma vez que delas provém boa parte das proteínas consumidas (mariscos e peixes), tão essenciais para subsistência e se apresentam como fonte de renda financeira. Para que os recursos sejam utilizados de forma racional, de forma sustentada, é preciso que o homem entenda melhor o funcionamento desse ambiente (GRASSO; TOGNELLA, 1995).

Segundo Moraes e Costa (2000), uma das maiores importâncias das florestas de manguezais é a contribuição generativa de várias espécies e, não servem apenas de maternidade para espécies marinhas, mas fêmeas de aves como pelicano e o guará passam a viver nos manguezais durante a época de reprodução. Outros animais fixam sua residência nesses bosques litorâneos para o resto de sua vida. Vários produtos podem ser obtidos dos manguezais, como remédios, álcool, adoçantes, óleos, tanino, etc. Sua área pode ser utilizada

para turismo ecológico, educação ambiental, apicultura, piscicultura e criação de outras espécies marinhas, além de sua principal função que é o de ser berçário de várias espécies vegetais e animais.

A importância “ecológica” do manguezal para a região costeira tropical vem sendo, há muitos anos, abordada em vários trabalhos pela comunidade científica. Atualmente eles são apontados pelo IAI (American Institute for Global Change Research) como um dos mais críticos ecossistemas nas Américas tropicais, em termos de sua vulnerabilidade a mudanças globais (SCHAFFER-NOVELLI, 1995).

O litoral do Estado de Alagoas possui 230 km de extensão, aproximadamente, ao longo da extensão de sua costa, apresentando diferentes ecossistemas costeiros, típicos da faixa tropical da região nordeste do Brasil. Estes ecossistemas sofrem influência climática direta das massas de ar, oriundas do Oceano Atlântico. Apresentam características ambientais próprias e com grande valor ecológico, devido às diversas variáveis particulares, referentes aos aspectos ambientais, destacando-se principalmente os aspectos geomorfológicos (GOES, 1979).

Em decorrência destas diferentes características, os ecossistemas costeiros alagoanos apresentam uma elevada biodiversidade, com inúmeras espécies da fauna e flora tropicais terrestres, dulcícolas e marinhas, muitas das quais são endêmicas da região e encontram-se ameaçadas de extinção, devido principalmente à destruição de seus respectivos habitats (RIZZINI, 1979). E dentre esses ecossistemas, encontra-se o manguezal, distribuídos ao longo das regiões estuarinas e lagunares, formando ilhas com tamanhos variados.

A situação dos manguezais existentes na costa brasileira apresenta-se semelhante para o litoral do Estado de Alagoas, como foi demonstrado por PANITZ (1998), que mencionou os vários aspectos dos impactos ambientais causados principalmente por atividades antrópicas mal planejadas. Estes estudos demonstram aspectos relacionados com a necessidade e a importância da preservação dos ecossistemas de manguezais, os quais são considerados pela legislação federal como áreas de preservação permanente, devido à importância que representam para o ambiente marinho (BRASIL/CONAMA, 2002).

Em Alagoas, segundo alguns estudos (CORREIA; SOVIERZOSKI, 2000; ZEEC/AL, 2007), muitos destes impactos ambientais foram e estão sendo causados por diferentes ações antrópicas de caráter ilegal, ao longo do último século, que ainda hoje permanecem atuando direta e indiretamente para a degradação ambiental destes ecossistemas. Devido à falta de informações muitas pessoas ainda consideram os ecossistemas de manguezais como locais desagradáveis e sem utilidade, tendo-se verificado o desmatamento da vegetação para retirada de lenha, aterros clandestinos usados para aumentar as áreas do plantio de coco e das pastagens, casos de ocupação urbana ou mesmo lançamento e deposição de lixo por parte de prefeituras municipais do Estado de Alagoas.

2.2- Radiação Solar.

A energia radiativa recebida pela terra na forma de ondas eletromagnéticas provenientes do Sol é denominada de radiação solar. Em meteorologia é mais comum usar o termo ondas curtas em lugar de radiação solar (MOURA, 2001). Tal energia é gerada no sol por meio de complexas reações termonucleares, as quais convertem as partículas atômicas (prótons do núcleo de Hidrogênio) em partículas alfa (núcleos de Hélio) (NICÁCIO, 2002). Esta energia que chega na superfície horizontal terrestre é gratuita e renovável (KOLLING, 2001), sendo praticamente a única fonte de energia que influencia os movimentos atmosféricos e os vários processos nas camadas superficiais da crosta terrestre (NOGUEIRA *et al.*, 2000).

Com isso, o Sol é considerado a principal fonte de energia da Terra, influenciando em praticamente todas as atividades humanas e no clima (NICÁCIO, 2002). Propicia o aquecimento diferencial das regiões do globo terrestre, originando os movimentos das massas de ar tanto em escala global (circulação geral da atmosfera) como em meso (ventos locais) e micro (chuvas convectivas) escalas (NICÁCIO *et al.*, 2002).

A distribuição da mesma sobre a superfície da terra varia deterministicamente com a latitude geográfica e sazonalmente com as estações do ano. A cobertura de nuvens, as

concentrações de aerossóis e partículas na atmosfera, também têm influência no fluxo de energia solar que chega à superfície terrestre e dos oceanos (MIRANDA *et al.*, 2002). A nebulosidade assume um importante papel nos modelos do balanço de radiação e clima. As nuvens reduzem a quantidade de energia solar absorvida no sistema Terra-Atmosfera, tendo em vista que a refletividade das mesmas é bem maior do que a refletividade da atmosfera sem nuvens (MENEZES; DANTAS, 2002).

A radiação solar ao penetrar na atmosfera é atenuada por processos de absorção e espalhamento, ocasionando uma diferença notável entre os valores da radiação solar no topo da atmosfera e a que incide na superfície (SANTOS; KASSAR, 2002). Uma considerável porção da radiação incidente é refletida pelas nuvens e difusamente espalhada pela atmosfera. Outras perdas ocorrem devido à absorção de radiação pelo ozônio, vapor d'água e dióxido de carbono. Apenas uma parte atinge diretamente a superfície da Terra, enquanto que o restante representa as contribuições difusas e térmicas da atmosfera (GALVÃO, 1999). A porção absorvida aumenta a temperatura da superfície e, por conseguinte, aumenta a emissão de ondas longas pela superfície terrestre para o espaço.

É o mais importante fator para os processos ecológicos, tais como evapotranspiração e fotossíntese, que controlam a distribuição, tipo e fisionomia da vegetação terrestre (LEITÃO, 1994). Por sua vez, a radiação solar também é responsável pela produção primária por meio da fotossíntese das plantas microscópicas (fitoplâncton), que suportam as cadeias alimentares estuarinas (MIRANDA *et al.*, 2002).

A vegetação é um importante receptor e armazenador orgânico dessa energia, pois interfere na quantidade de energia solar que será absorvida pela superfície da terra em função do seu albedo, exercendo ainda, um importante papel no armazenamento da energia solar na biomassa por meio da sua alta capacidade térmica da assimilação da energia na forma de carboidratos (JARVIS *et al.*, 1997).

Um dos fatores mais importantes que influem no microclima é a atenuação da radiação solar pela copa das florestas naturais, pois atua diretamente no balanço de energia e, conseqüentemente, nas condições ambientais (HERNANDES *et al.*, 2004). Segundo Hardy *et*

al.(2004), o ângulo de incidência solar tem forte influência na interceptação e transmissão da radiação solar pelo dossel das árvores, o que influencia na atenuação da radiação que chega ao solo.

Geralmente, a quantidade de radiação solar direta interceptada e transferida no dossel, depende principalmente de sua orientação, densidade da planta e estrutura geométrica da copa (LI *et al.*, 2000). A interceptação pela vegetação determina em grande parte a transpiração e a fotossíntese das coberturas vegetais (MARIN *et al.*, 2002). O regime de radiação dentro de dosséis vegetais exibe considerável variabilidade espacial, temporal, sendo dependente da densidade foliar do dossel (LEITÃO, 1994). A radiação é atenuada de forma não-linear, de modo que os galhos superiores recebem maior quantidade de luz (SOUZA *et al.*, 2002).

A radiação solar é um fator importante na contabilização do balanço de energia no interior dos manguezais, influenciando diretamente os processos de aquecimento do ar e do solo, evapotranspiração e fotossíntese. O vento cria turbulência mecânica, facilitando as trocas de calor e CO₂, principalmente em dosséis rugosos e com folhas menores (SNEDAKER, 1982; HERZ, 1988). Dessa maneira, investigar as variações micro climáticas em um dossel vegetativo implica no estudo das componentes do balanço de energia na camada limite superficial e, os consequentes processos interativos, onde o vento e a radiação solar têm papéis fundamentais (RODRIGUES, 2006).

A distribuição e quantidade de energia que é absorvida pelos manguezais dependem basicamente da sua localização geográfica, que influencia as variações na proporção de incidência da radiação solar ao longo do ano, bem como o adensamento e desenvolvimento da folhagem. Tais características provocam alterações na partição de energia e, por consequência, no balanço térmico (ODUM *et al.*, 1970).

Segundo Ribeiro (2001) quanto mais denso o mangue, maior quantidade de radiação solar incidente pode ser absorvida e a atenuação da insolação aumenta progressivamente com o incremento da área foliar. Assim, no período em que as árvores perdem grande quantidade

de folhas, a atenuação da radiação solar é reduzida, aumentando a contribuição do substrato na absorção da radiação solar incidente.

O movimento contínuo das folhas provocado pelo vento, associado às variações no ângulo de incidência solar ao longo do dia, faz com que o dossel da vegetação absorva quantidades flutuantes de radiação. Em dias ventilados a penetração da radiação incidente tende a ser maior, pois conforme aumenta a velocidade do vento, há maior agitação das folhas, modificando a disposição das copas das árvores e permitindo a formação de caminhos de entrada da radiação no interior do manguezal (RODRIGUES, 2006).

Larcher (1986) verificou que a conversão de energia é mais pronunciada na parte superior da copa das árvores, onde a flutuação diária da temperatura do ar é também maior. Próximo do solo, onde apenas uma pequena parte da energia é convertida, a flutuação de temperatura é mínima. Como as plantas trocam energia com o meio ambiente, a temperatura das partes da planta acima do solo pode divergir consideravelmente da temperatura do ar. E as trocas de calor da vegetação com o meio ambiente por convecção serão mais eficazes, quanto menores e mais divididas forem as folhas. As constantes modificações na composição foliar do dossel vegetativo alteram sua rugosidade, influenciando o padrão do vento e os transportes turbulentos.

Costa (2001) ao avaliar variações térmicas decorrentes da degradação de manguezais, utilizando-se de comparações simultâneas da variação diária da temperatura do ar entre as áreas de manguezal natural e degradado, mostrou que as temperaturas mais altas foram verificadas na área degradada durante o período diurno. Obviamente, esta área tende a tornar-se mais aquecida devido à exposição do solo à radiação solar direta, associado à contribuição da cor escura do solo. Entretanto no período noturno, as temperaturas na área natural são sempre maiores que às observadas na área degradada. Essas diferenças estão associadas à eficiência na atenuação da radiação solar incidente quando penetra no dossel da floresta de manguezal, cuja cobertura vegetal tende a armazenar os fluxos radiativos e minimizar as perdas energéticas noturnas, ao passo que na área degradada, as perdas radiativas noturnas não sofrem nenhum bloqueio devido à ausência da vegetação.

2.3 – Balanço de Radiação.

A distribuição da radiação solar é quem determina a maioria dos fenômenos no sistema terra-atmosfera e tem grande importância na determinação das taxas de fotossíntese e evapotranspiração (BASTABLE *et al.* 1993). Então, é importante se fazer um estudo do balanço de radiação para se determinar como é o comportamento do saldo de radiação em um sistema florestal como, por exemplo, de um manguezal, e como essa energia disponível influenciará nos diferentes processos físicos do sistema.

Sendo assim, o balanço de radiação em uma determinada superfície é a contabilização líquida entre a energia radiante recebida e perdida pela superfície (VIANELLO, 2000). Ou seja, é resultante da soma dos fluxos de radiação solar de ondas curtas e ondas longas, podendo ser descrito: $Rn = (Rg - Rr) + (Ra - Rs)$, onde Rn é fluxo líquido de energia ou saldo de radiação, Rg é radiação solar global incidente, Rr é radiação solar de ondas curtas refletida pela superfície, Ra é a radiação de onda longa proveniente da atmosfera e Rs é a radiação de onda longa emitida pela superfície. A avaliação dos seus diferentes componentes indica como a entrada de radiação no sistema atmosfera-Terra é dividida e usada. O balanço ou saldo de radiação representa as fontes e sumidouros de radiação que afetam as condições meteorológicas e o clima do planeta.

O saldo de radiação, além de ser o principal componente do balanço de energia, desempenha um papel fundamental nos métodos que estimam as perdas de água por superfícies vegetadas, parâmetro extremamente importante no planejamento das atividades agrícolas. Por outro lado, quando incorporado a superfície, o saldo de radiação é convertido em outras formas de energia, que estão associadas às variações espaciais e temporais de vários parâmetros meteorológicos, principalmente próximo da superfície. Desta forma o saldo de radiação, como um dos componentes do balanço de energia, constitui-se em elemento fundamental para os estudos de micrometeorologia (LEITÃO, 1994).

Em um estudo sobre a variabilidade média horária dos principais elementos meteorológicos em uma área de manguezal no Estado do Pará, referente aos anos de 2001 a

2003, foi observada uma variação sazonal da radiação solar da ordem de 62%. A radiação solar global sofreu uma considerável redução na época chuvosa, o que esta associada com as características de nebulosidade da região (SILVA JÚNIOR, 2006).

Há muitos estudos sobre balanço de radiação em áreas de floresta, segundo Shuttleworth *et al.* (1984), inicialmente, estes estudos basearam-se em informações sobre coberturas vegetais localizadas em latitudes médias. Estes, por sua vez, para avaliar a influência que a floresta tropical amazônica exerce sobre o clima, analisaram as características dos componentes do balanço de radiação (radiação de onda curta e de onda longa) acima e no interior da copa das árvores na Reserva Florestal Ducke (Manaus, Amazonas), segundo estes autores a relação entre a radiação solar e o saldo de radiação foi adequadamente descrita por uma regressão linear. A fração de radiação solar que atingiu o solo da floresta foi pequena, cerca de 1% do total acima da copa, o saldo de radiação nesta mesma posição foi consistente com os pequenos fluxos de calor e de evaporação do solo.

André *et al.* (1988) analisaram as características das variações diárias do balanço de radiação nas estações seca e chuvosa para o mesmo sítio, onde seus resultados mostraram que não houve mudanças significativas no comportamento dos termos do balanço de radiação de uma estação para outra, embora os valores absolutos dos termos tenham sido diferentes, com maiores valores para a estação chuvosa. A radiação de onda curta e o saldo de radiação se correlacionaram muito bem em ambas as estações.

2.4 – Balanço de Energia.

Estudos envolvendo a radiação solar são importantes por ser esta a principal fonte de energia para os processos físicos e biológicos que ocorrem na biosfera e, em particular, na floresta (LEITÃO, 1994). O estudo do balanço de energia é fundamental para se compreender a distribuição da energia particionada para execução de diferentes finalidades.

Diversos processos atmosféricos, hidrológicos e biogeoquímicos são influenciados pelas contribuições da energia disponível na forma de calor sensível e calor latente, a partir

superfície. Sendo assim, segundo Borges *et al.*(2008), o método do balanço de energia é utilizado, comumente, para se estimar a evapotranspiração de superfícies vegetadas e se baseia na análise do balanço energético dos ganhos e perdas de energia térmica radiativa, condutiva e convectiva por uma superfície evaporante.

O balanço de energia pode ser expresso por: $Rn = H + LE + G + S + P$, onde H é o fluxo de calor sensível, LE é o fluxo de calor latente, G é fluxo de calor no solo, S é a energia armazenada na biomassa e P é a energia usada nos processos fotossintéticos.

Por convenção de sinal, os fluxos de energia que apontam no sentido da camada superficial são negativos e aqueles para fora dela são considerados positivos. Durante o dia, a superfície recebe mais energia radiativa, tal que ela transfere calor para ambos os meios (superfície e o ar adjacente). Os fluxos H e LE são, em geral, positivos durante o dia, sobre superfícies sólidas. As magnitudes dos componentes do balanço de energia dependem de muitos fatores, tais como o tipo de superfície e suas características (umidade do solo, textura, vegetação...), localização geográfica, mês ou estação do ano, hora do dia e condições do tempo (ARYA, 1988).

Durante a noite, a superfície perde energia por radiação de onda longa, principalmente sob condições de céu claro ou parcialmente coberto. Esta perda é compensada pelo ganho de calor provenientes do ar e do solo e, às vezes, na forma de calor latente de condensação, liberado durante os processos de formação de orvalho. Assim, de acordo com a convenção de sinal, os termos do balanço de energia no sentido da camada superficial são geralmente negativos durante o período noturno (ARYA, 1988).

Na floresta, a maior parte da energia líquida disponível é destinada para o fluxo de calor latente (evapotranspiração), enquanto uma pequena parte vai para o fluxo de calor sensível (aquecimento do ar). Desta forma o saldo de radiação é fracionado, dependendo das condições ambientais e de água no solo (MOURA, 2000).

Estudos micrometeorológicos publicados por Baldocchi *et al.* (2000) e Meyers (2001) sobre trocas de energia e vapor d'água entre a atmosfera e a superfície vegetada

indicam que ocorre uma considerável variabilidade intersazonal da energia na superfície a curto e médio prazo e ocasionalmente ao longo dos anos.

Lyons *et al.* (1996) afirmam que a energia disponível ($R_n - G$) é repartida entre o fluxo de calor sensível e latente à superfície. Assim como Bastable *et al.* (1993) ao mencionarem que o saldo de radiação (R_n) impulsiona alguns processos físicos, sendo utilizado para aquecer a superfície e o ar acima dela ou para fornecer energia para evaporar a água do solo e da vegetação.

Bowen (1926) desenvolveu o método do balanço de energia baseado no quociente entre os fluxos de calor sensível e latente, o qual combina as variáveis atmosféricas e a energia disponível na superfície evaporante. O conhecimento dos componentes do balanço de energia sobre superfícies cultivadas é de grande importância para a estimativa das perdas de água por evapotranspiração e caracterização do microclima local; além disso, ele pode contribuir para a utilização mais racional da água pelas culturas, cujas fases críticas de desenvolvimento são limitadas pelo fator hídrico.

A Razão de Bowen, a partir daí, é o parâmetro comumente utilizado para caracterizar a partição de energia disponível para o transporte turbulento entre cada fluxo. Essa partição determina as propriedades da camada limite planetária, influenciando o transporte vertical (convecção) e o transporte horizontal (advecção) de calor e umidade (GASH; NOBRE, 1996).

Estudos realizados por Zhang *et al.* (1996), na região amazônica, mostram que 88% da radiação solar incidente é absorvida pela superfície e a partição do saldo de radiação é de aproximadamente 64% para fluxo de calor latente, através da evapotranspiração e 36% é alocado na forma de calor sensível.

Segundo Ribeiro (2001), que utilizou uma série de dados de radiação referente ao mês de junho de 1997, coletados no manguezal de Bragança-PA, o saldo de radiação representou em média 78% da radiação solar global. No ciclo diurno, o fluxo de calor latente foi equivalente a 69% do saldo de radiação, enquanto o fluxo de calor sensível representou 24% do saldo de radiação. Silva Junior (2006) ao analisar as interações dos diferentes

componentes do balanço de energia no manguezal, verificou que existe uma grande sazonalidade nos mesmos, sendo evidente a grande influência das precipitações locais e das marés, que inundam periodicamente aquele ambiente, influenciando no comportamento destes fluxos energéticos.

Resultados apresentados por Rodrigues (2006) mencionam que a partição de energia no manguezal dá-se predominantemente na forma de calor latente, porém com magnitudes inferiores àquelas observadas em floresta Amazônica, enquanto o fluxo de calor sensível é em média 20% menor que o fluxo de calor latente. A variação sazonal de *LE* na partição do saldo de radiação tem comportamento diferenciado entre o período de estudo coletado que vai de novembro de 2002 a agosto 2003, onde, segundo a climatologia da região, de janeiro a maio caracteriza-se o período chuvoso e de junho a dezembro caracteriza-se o período menos chuvoso. Durante o período chuvoso, 50% da energia disponível foi utilizada para o processo de evapotranspiração e no período menos chuvoso o fluxo de calor latente representou 42% da partição da energia disponível. Por outro lado, a energia disponível utilizada para aquecimento da atmosfera não diferiu muito entre os períodos e representou em média 37% do saldo de radiação.

Resultado encontrado por Ribeiro (2001), no manguezal com área desmatada, dá conta de que a exposição à radiação solar direta na superfície resulta em uma redução considerável na evaporação e um aumento no fluxo de calor sensível, até mais pronunciado em relação a áreas de floresta de terra firme, devido à tonalidade escura do solo de manguezal que favorece a absorção da radiação incidente. Além disso, o solo descoberto torna-se vulnerável a enxurradas provocadas por precipitações intensas, causando lixiviações de nutrientes e sal marinho. Assim, os solos desmatados tendem a tornar-se compactados e pobres de nutrientes, dificultando a regeneração dessa área

Segundo Silva e Herz (1987), em geral, no interior dos manguezais a umidade do ar é alta, contribuindo para que a temperatura do ar seja bastante diferenciada dos ambientes periféricos, principalmente em relação à mata costeira que processa e acumula a radiação solar de modo próprio, muito distinto ao da floresta atlântica. Por comparações realizadas

simultaneamente entre as duas áreas referidas, com relação à variação diurna da temperatura, foram constatadas temperaturas mais elevadas nas áreas ocupadas por manguezais. Pela elevação da temperatura sobre os manguezais, deduz-se que a umidade em suspensão promove a absorção parcial das radiações infravermelho, cujo produto soma-se à quantidade de energia acumulada pelo substrato negro, resultante da decomposição e oxidação da biomassa, como também da água superficial mantida nos interstícios do substrato e pequenas depressões e mesmo pelo alto conteúdo de água constantemente renovado pelas marés. Caracterizando que todo metabolismo das espécies deste ecossistema são dependentes de um balanço térmico extremamente diverso daquele encontrado para a mata costeira de terra firme. Dessa forma, pode-se afirmar que os manguezais em sua funcionalidade capacitam o ambiente em superfícies de absorção das radiações, especialmente do espectro infravermelho, caracterizando diferentes albedos.

Segundo Silva (1991), um aspecto decorrente da temperatura do ar é que seguramente o limite zonal dos manguezais sobre latitudes maiores e além dos trópicos, possa ser justificado pela microclimatologia desfavorável gerada no interior dos manguezais, o que permitiria a tolerância menor aos extremos climáticos inadequados à sobrevivência daquelas espécies vegetais em latitudes maiores à zona intertropical.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 – Caracterização geral da área de estudo.

O Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú–Manguaba (CELMM) caracteriza-se por um sistema de corpos aquáticos naturais formados pelas lagoas Mundaú e Manguaba, canais de acesso, várias ilhas (com destaque para a de Santa Rita e a do Lisboa.) e uma parte estuarina comum a ambas as lagoas no deságüe no mar. Localizado no litoral médio do Estado de Alagoas, constitui-se em um dos ecossistemas mais representativos do estado e um dos sistemas estuarinos mais importantes do país, possuindo um valor socioeconômico muito importante. Esse complexo está enquadrado como estuarino-lagunar, pois constitui uma estrutura geológica com três subsistemas principais: o subsistema flúvio-lagunar e suas interações rio–laguna; a laguna central; e o subsistema de canais e suas interações estuário–mar (BRASIL/ANA, 2006).

Na região do complexo, os manguezais ocorrem densamente em áreas mais extensas ao longo dos canais de ligação entre as embocaduras e as lagoas e em faixas estreitas ao longo das margens das duas lagoas, sendo o “mangue-branco” (*Laguncularia racemosa*) a espécie mais freqüente (MARQUES *et al.*, 2000), e esse ecossistema ocupada uma área de 3.034 ha, sendo 1,55% da área total do complexo (BRASIL/ANA, 2006). A Universidade Federal de Alagoas listou os principais impactos que ocorrem nos manguezais do CELMM (UFAL, 2004): desmatamento da vegetação, assoreamentos, queimadas, aterros clandestinos, poluição industrial, construção de moradias e bares nas regiões estuarinas.

Do ponto de vista político-administrativo, o CELMM engloba sete Municípios de Alagoas: Maceió, Rio Largo, Marechal Deodoro, Pilar, Satuba, Santa Luzia do Norte, Coqueiro Seco (IBGE, 2000), e abrangendo todas as ilhas e, no continente, as encostas dos Tabuleiros e Restingas que as circundam. A Área de Proteção Ambiental (APA), de Santa Rita (Figura 2), situa-se entre as latitudes de 9°37'30'' e 9°47'30''S e as longitudes 35°45'00'' e 35°55'00''W, onde foi detectado que 44% da referida área está degradada (IMA, 1993).

Acredita-se, entretanto, que atualmente a taxa de degradação seja maior, apesar de não se contar com dados atualizados divulgados pelos órgãos responsáveis.

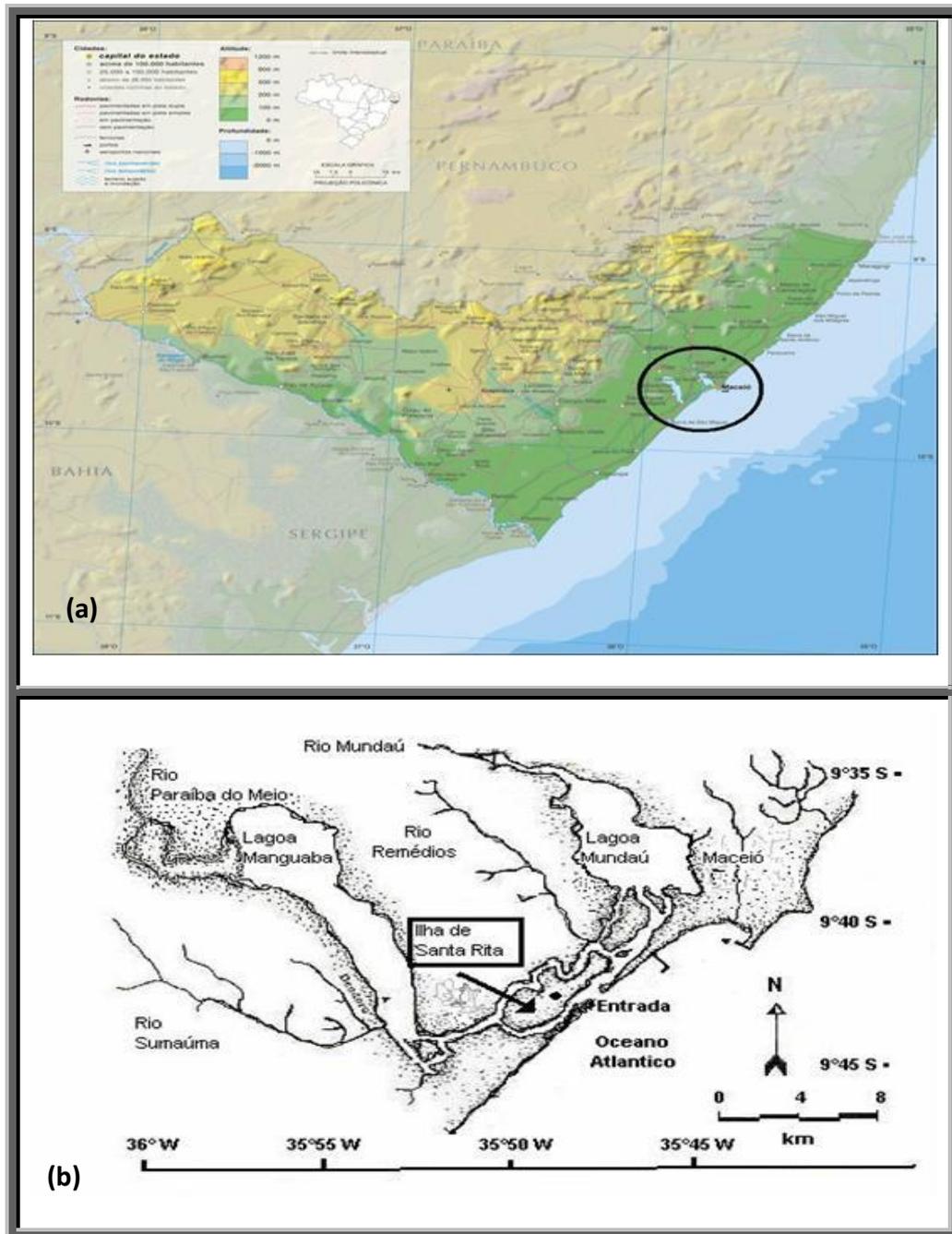


Figura 2 – Mapa básico do Complexo Lagunar Estuarino Mundaú-Manguaba. Fontes: IBGE, 2003(a); MOURA *et al*, 2006 (b).

Este estudo foi realizado com os dados coletados durante o período de outubro de 2004 a outubro de 2005 em um sítio experimental do projeto “Micrometeorologia do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (Maceió - AL)”, Processo FAPEAL 20030929343-3, localizado na ilha de Santa Rita no município de Marechal Deodoro, aproximadamente 15km ao sul da cidade de Maceió – AL. O sítio é caracterizado pelo tipo de cobertura vegetal, apresentando vegetação nativa, mais especificamente floresta de manguezal.

3.2 – Caracterização específica da área de manguezal natural.

Segundo Querino (2006), e complementado com informações citadas por Calado e Sousa (2003), a floresta de mangue natural faz parte da área de preservação ambiental (APA) pertencente ao condomínio Laguna, e o sítio micrometeorológico pesquisado está localizado a 9°42'18" S e 35°48'32" W. Dotado de uma área de aproximadamente 416 mil m², o manguezal tem uma flora composta por dois tipos de árvores predominantes, com uma altura média do dossel em torno de 11,5m. Um dos tipos arbóreos são as *Avicennia Germinans L.*, vulgarmente chamada de “mangue-preto”. Esse tipo de vegetação caracteriza - se por ser composto de árvores com casca lisa castanho-claro, que ao serem raspadas mostram cores amareladas. Por outro lado, essas plantas são encontradas em menor número do que as espécies *Rhizophora Mangle L.*, também conhecida com Gaitera ou “mangue-vermelho”. Esse vegetal se dispõe mais externamente nos manguezais, se restringindo praticamente aos canais e ilhas. Suas cascas são mais ásperas e quando descascadas apresentam uma cor avermelhada.

3.3 – Dados coletados na área de estudo.

No interior do manguezal (Anexo B) foi erguida uma torre de 14m, na qual foram instalados diversos sensores para monitorar diferentes variáveis, sendo que para o presente trabalho foram utilizados: saldo de radiação (*Rn*), radiação solar global (*Rg*), radiação de ondas curtas refletida pela superfície (*Rr*), temperatura do ar (*Ta*), umidade do ar (*UR*).

A aquisição dos dados foi feita a cada 10 segundos por dataloggers CR10X e 21X e suas médias armazenadas a cada 5 minutos em Storages do tipo SM192, SM716 e SM4M, todos da Campbell Scientific, sendo que os mesmos eram descarregados quinzenalmente em microcomputadores no Departamento de Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas – UFAL.

Os piranômetros destinados a mensurar a R_g foram do modelo SP – LITE da Campbell Scientific, cujo tempo de resposta é abaixo de 1 segundo, e apresenta um desvio máximo estimado em $\pm 1\%$ para cada $1000W.m^{-2}$. Foram utilizados sensores do tipo Q7_1-L REBS Net radiometer da Campbell Scientific, para obtenção de valores de Saldo de Radiação (R_n) para todo período, porém, no mês de outubro de 2005, teve-se a oportunidade de ser colocado um sensor no interior do manguezal onde, como foco principal, verificar-se-ia se o saldo de radiação no interior é diferente de zero.

Na coleta dos dados de radiação de ondas curtas refletida pela superfície, foi utilizado um piranômetro, da LI-COR Inc., modelo LI200SZ com seu sensor voltado para baixo. Esse instrumento apresenta um desvio máximo de $\pm 1\%$ para cada $3000W.m^{-2}$, é dotado de uma acurácia de $\pm 3\%$. Destaca-se que no manguezal natural, o instrumento foi instalado acima da copa das árvores durante todo o período de estudo, o que permitiu relatarmos o albedo da vegetação natural, e em outubro de 2005, foi colocado um instrumento no interior, para que se medisse a radiação refletida pela superfície interna. Já os dados de temperatura e umidade do ar foram coletados utilizando-se o sensor HMP45C-9 da Campbell Scientific. A coleta dos dados de fluxo de calor no solo foi efetuada pelo sensor HFT3-L da REBS, instalado a 2cm do solo.

A caracterização sazonal vista nos gráficos deste trabalho, foram trabalhadas por meio de algumas funções estatísticas visando obtermos informações sobre o comportamento mensal e horário dos dados utilizados. Neste estudo foram empregadas as seguintes funções: média aritmética dos valores e o desvio padrão, por sua vez, foi utilizado o programa SURFER 8 para a produção dos gráficos. Ressalta-se que todos os instrumentos foram

previamente testados e calibrados antes de serem colocados em campo. Sendo assim, por meio dessas variáveis coletadas, foram determinados os seguintes parâmetros:

3.3.1 – Parâmetros calculados.

3.3.1.1 – Balanço de Radiação.

O Balanço de radiação de uma superfície significa o estudo das trocas verticais de radiação entre a atmosfera e a superfície de um determinado sistema, como os manguezais, por exemplo. As trocas verticais de radiação são constituídas de componentes de ondas curtas e de componentes de ondas longas, que possuem fluxos direcionados à superfície e à atmosfera. O Saldo de Radiação representa a quantidade de energia que foi absorvida pela superfície do sistema e que está disponível para ser usada nos processos de transferência de calor latente (evaporação e evapotranspiração) e calor sensível (aquecimento do ar e do sistema) e no processo de fotossíntese entre as superfícies e a atmosfera (RIBEIRO, 2001).

E, segundo o mesmo autor, o balanço de radiação da superfície de um dossel pode ser dado pela soma algébrica do balanço de ondas curtas, $S_n = R_g - R_r$, e o balanço de radiação de ondas longas, $L_n = R_a - R_s$, ou seja:

$$R_n = (R_g - R_r) + (R_a - R_s) \quad (1)$$

onde:

R_n = Saldo de radiação ($W.m^{-2}$);

R_g = Radiação solar global incidente na superfície ($W.m^{-2}$);

R_r = Radiação solar refletida pela superfície ($W.m^{-2}$);

R_a = Radiação dirigida da atmosfera para a superfície ou contra-radiação ($W.m^{-2}$);

R_s = Radiação emitida ou emissão da superfície ($W.m^{-2}$).

Uma vez determinado o valor da radiação solar global, o balanço de radiação de ondas curtas pode ser estimado, conhecendo-se o albedo ou coeficiente de reflexão para a radiação de ondas curtas (α) da superfície em questão, isto é:

$$S_n = R_g(1 - \alpha) \quad (2)$$

Por definição, o albedo é dado pela equação:

$$\alpha = \frac{R_r}{R_g} \quad (3)$$

Durante o dia o balanço de radiação de onda curta $R_g(1 - \alpha)$ é o termo dominante para R_n e o albedo governa o recebimento de radiação solar. À noite, o saldo de radiação é determinado pelos termos referentes ao balanço de radiação de onda longa (R_n negativo), que passa a governar os processos de perdas, as quais são controladas pela temperatura e emissividade da superfície considerada. Devido a estas perdas de radiação durante a noite, o saldo de radiação diurno é maior do que o saldo de radiação das vinte e quatro horas.

Utilizando as observações de radiação global, de radiação refletida e do saldo de radiação, podem-se determinar as relações R_n versus R_g e R_n versus S_n , obtendo-se as seguintes relações empíricas:

$$R_n = a_1 R_g + b_2 \quad (4)$$

$$R_n = a_1 S_n + b_2 \quad (5)$$

onde a_i e b_i ($i = 1$ e 2) são constantes obtidas a partir de regressão linear, para cada caso.

3.3.1.2 – Método da Razão de Bowen para estimar LE e H .

Vale lembrar que a equação do Balanço de energia tem 4 termos e que somente 2 podem ser medidos diretamente, saldo de radiação (R_n) e o fluxo de calor no solo (G).

$$R_n = LE + H + G \quad (6)$$

O fluxo de calor sensível (H) representa a fração de R_n que serve para aquecer o ar e o fluxo de calor latente (LE) a fração de R_n destinada a evapotranspiração. Segundo Toledo

Filho (2001), com exceção da camada laminar, onde o transporte é feito por condução, o transporte de calor sensível (H) é amplamente controlado pela turbulência. E o seu cálculo é feito pela expressão:

$$H = \rho c_p K_H \frac{\partial T}{\partial Z} \quad (7)$$

ρ - densidade do ar (kg.m^{-3})

c_p - calor específico do ar ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)

K_H - coeficiente de transporte turbulento para o ar ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$)

$\partial T/\partial Z$ - gradiente vertical de temperatura (K.m^{-1})

O fluxo de calor latente (LE) é calculado de maneira similar.

$$LE = \rho L K_W \frac{\partial q}{\partial Z} \quad (8)$$

L - calor latente de vaporização ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)

K_W - coeficiente de transporte turbulento para umidade ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$)

$\partial q/\partial Z$ - gradiente vertical de umidade ($\text{g.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$)

Supondo a igualdade entre os coeficientes de transferência turbulenta de calor sensível (K_H) e latente (K_W), ou seja, a razão entre esses coeficientes deve ser igual a unidade, o que é válido basicamente para condições de estabilidade atmosférica próximo à neutralidade; as medidas de temperatura do ar e pressão de vapor d'água devem ser efetuadas dentro da camada limite superficial (vegetação-atmosfera), com ausência de gradientes horizontais, implicando na necessidade de um "fetch" (bordadura) (ANGUS; WATTS, 1984; HEILMAN; BRITTIN, 1989; NIE *et al.*, 1992). Aplicando assim essa igualdade ($K_H \approx K_W$) nas equações 7 e 8 :

$$K_H = \frac{H}{\rho c_p} \frac{\partial Z}{\partial T} \quad (9)$$

$$K_W = \frac{LE}{\rho L} \frac{\partial Z}{\partial q} \quad (10)$$

Ou seja,

$$\frac{H}{\rho c_p} \frac{\partial Z}{\partial T} = \frac{LE}{\rho L} \frac{\partial Z}{\partial q} \quad (11)$$

O valor da razão de Bowen será então:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{c_p}{L} \frac{\partial T}{\partial q} \quad (12)$$

Sabendo que q (umidade específica) é igual:

$$q = \frac{0,622e}{P-0,378e} \cong \frac{0,622e}{P}$$

$$\delta = \frac{0,622}{P}$$

Deduzimos que: $q = \delta e$, sendo e (vapor d'água do ar). E substituindo em (eq. 12)

$$\beta = \frac{c_p}{L\delta} \frac{\partial T}{\partial E} = \frac{\Delta T}{\Delta e}$$

A razão $C_p/L\delta$ é na verdade o coeficiente psicrométrico ($\gamma = 0,66 \text{ (hPa.K}^{-1} \text{)}$).

Substituindo na equação acima obtemos a equação definitiva para calcular a razão de Bowen:

$$\beta = 0,66 \left(\frac{T_2 - T_1}{e_2 - e_1} \right) \quad (13)$$

T_1 -temperatura do ar no nível 1 (m),

T_2 -temperatura do ar no nível 2 (m)

e_1 - pressão de vapor no nível 1 (hPa)

e_2 - pressão de vapor no nível 2 (hPa).

O cálculo da pressão de vapor d'água do ar (e), (hPa), é obtido pela expressão:

$$e = \frac{URe_s}{100} \quad (14)$$

onde UR corresponde à umidade relativa do ar em (%) e e_s a pressão de saturação do vapor d'água do ar (hPa), determinado, em função da temperatura do ar ($^{\circ}C$), por:

$$e_s = 6,1078 * 10^{\frac{a*T}{b+T}} \quad (15)$$

Para $T > 0 \rightarrow (a=7,5; b=237,3)$

Para $T < 0 \rightarrow (a=9,5; b=265,5)$

Da equação 12 podemos tirar o valor de H e de LE :

$$H = \beta * L \quad (16)$$

$$LE = \frac{H}{\beta} \quad (17)$$

Substituindo LE (eq.17) na equação do Balanço de energia (6), obtemos:

$$Rn - G = H + \frac{H}{\beta}$$

$$Rn - G = H \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

O valor de " H " será então:

$$H = \frac{(Rn-G)}{1 + \frac{1}{\beta}} \quad (18)$$

O valor de LE é obtido de maneira semelhante:

$$Rn - G = \beta LE + LE$$

$$Rn - G = LE (\beta + 1)$$

$$LE = \frac{(Rn-G)}{\beta + 1} \quad (19)$$

3.3.1.3 – Classificação da Nebulosidade.

O K_t (Índice de Transmitância Atmosférica) é de grande interesse para a análise da radiação solar global (R_g), pois de acordo com a quantidade de nuvens haverá um aumento ou uma redução dessas radiações (TAVARES, 2005). Para a estimativa desse índice, Querino (2006) utilizou a relação entre R_g , medida por piranômetros instalados acima da dossel, e a radiação solar no topo da atmosfera (R_o). E, baseado nesses parâmetros, verificou-se a representatividade sazonal para dias claros, parcialmente nublados e nublados, a fim de um melhor entendimento do comportamento da R_g e de sua influência no R_n .

$$K_t = \frac{R_g}{R_o} \quad (20)$$

Na classificação de cobertura de nuvens ou índice de claridade (K_t) foram adotados os critérios propostos por Iqbal (1983):

$K_t \leq 0,3$	dia nublado (NB)
$0,3 < K_t < 0,7$	dia parcialmente nublado (PN)
$K_t \geq 0,7$	dia com céu limpo (CL)

Para a estimativa do R_o ($W.m^{-2}$) foi usado a fórmula (IQBAL, 1983):

$$R_o = S_o \cdot E_o \cdot \cos Z^* \quad (21)$$

Ou

$$R_o = S_o \cdot E_o \cdot (\sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos H^*)$$

sendo E_o e δ :

$$E_o = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot dn}{365}\right) \quad (22)$$

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

assim como H^* ,

$$H^* = \cos^{-1}(-\operatorname{tg} \phi \cdot \operatorname{tg} \delta) \quad (24)$$

onde,

S_o – constante solar ($\approx 1367 \text{ W.m}^{-2}$);

E_o – fator correção da excentricidade da orbita da terra;

dn – dia Juliano;

ϕ – latitude local ($^\circ$);

δ – declinação solar ($^\circ$);

Z^* – ângulo zenital ($^\circ$);

H^* – ângulo horário ($^\circ$).

3.4 – Climatologia da Região.

Devido a sua localização geográfica, o Nordeste do Brasil (NEB) sofre a influência de sistemas meteorológicos o quais conferem características climáticas peculiares, sendo conhecida como uma região de alta variabilidade temporal e espacial no campo de precipitação. Essa alta variabilidade no regime pluviométrico do NEB está associada às interações entre sistemas meteorológicos de mesoescala e macroescala. Assim, a atuação simultânea ou não desses sistemas, e de seus posicionamentos relativos à região, são responsáveis por chuvas muito acima ou muito abaixo da normal climatológica, podendo provocar tanto enchentes como secas severas (CALHEIROS *et al*, 2006).

O Estado de Alagoas está localizado em uma sub-região do Nordeste que possui grande variabilidade na distribuição pluviométrica devido a sua orografia e sistemas de ventos locais (FIGUEIREDO, 2002). A temperatura do município de Maceió varia entre a mínima de 19°C e a máxima absoluta de 31°C com médias anuais entre 25°C e $26,4^\circ\text{C}$, a umidade relativa é de 78%, registrando os maiores valores nos meses de abril a agosto, e o clima é quente e úmido. Os ventos são de sudeste, durante o ano inteiro, e nordeste, nos meses mais

quentes, são os mais freqüentes na cidade de Maceió com a velocidade média de 2,8m/s. A pluviosidade média anual é de aproximadamente 1.700mm e conforme a série histórica os maiores índices pluviométricos são observados nos meses de maio, junho e julho (ARAÚJO; PACE, 2007).

A Normal climatológica para Maceió, segundo a Secretaria de Estado de Recursos Hídricos e Irrigação (SERHI), apresenta o período chuvoso compreendido entre os meses de abril e julho, enquanto o período seco está compreendido entre outubro e janeiro (SERHI, 2003). Segundo Querino (2006), os dados coletados durante o experimento “Micrometeorologia do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (Maceió - AL)” condizem com a normal climatologia. Contudo, destaca-se o fato dos meses mais chuvosos, maio e junho, terem sido bastante superiores em relação aos da normal climatológica, enquanto todos os outros meses ficaram com precipitação abaixo da média, destacando-se dezembro e janeiro que foram extremamente secos (Figura 3).

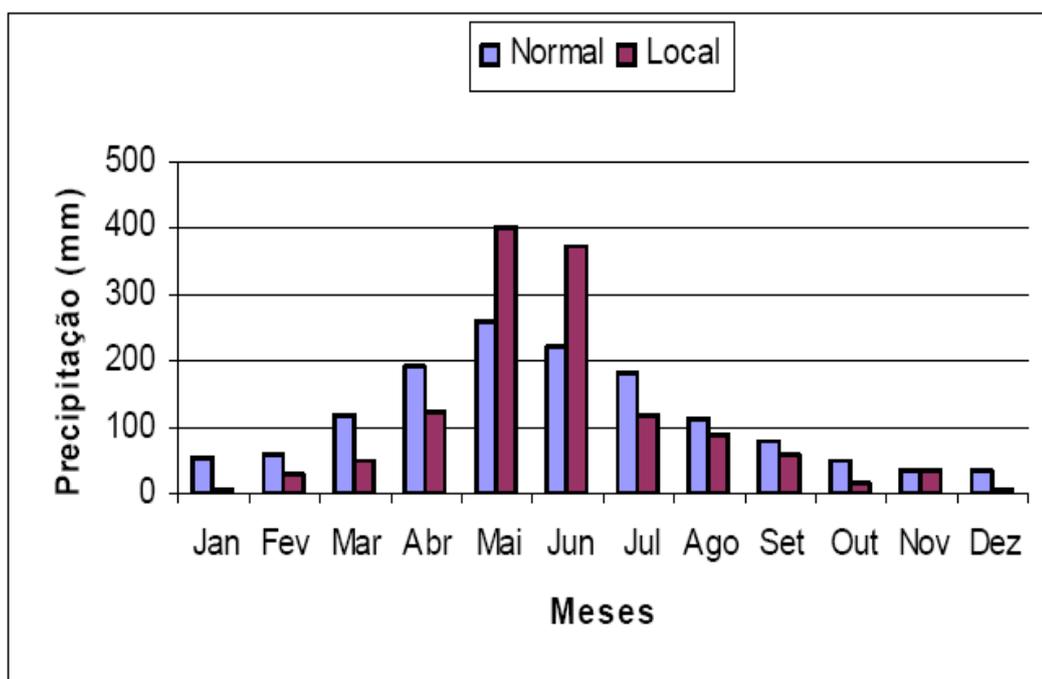


Figura 3 – Comparação entre a Normal climatológica de precipitação (mm) para a cidade de Maceió-AL (1961-2001) e dados coletados na região do experimento (outubro de 2004 a outubro de 2005). Fonte: QUERINO (2006).

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 – Variação sazonal da Radiação global (R_g).

Conhecer o saldo de Radiação vem sendo fundamental na parametrização de fluxos de propriedades físicas na atmosfera próxima da superfície terrestre, no entanto, sua determinação depende em grande parte da R_g (MARTINEZ *et al.*, 1998). Então, conhecer a quantidade de energia solar que chega à superfície em diferentes épocas do ano é primordial para compreendermos o padrão sazonal do R_n . Variações nos níveis da radiação solar incidente são também dependentes da declinação solar e, principalmente, do estado de transparência da atmosfera que proporciona maiores fluxos de R_g no verão e menores no inverno.

As condições de nebulosidade são um dos fatores que mais influenciam a variação da R_g (SILVA, 2007), pois podem afetar drasticamente a transmissividade atmosférica diminuindo a radiação solar incidente. Os valores de R_g relacionados não só com a sazonalidade quanto com as flutuações diárias podem ser melhor compreendidos se observarmos o índice de transmitância atmosférica (K_t). Esse índice mostra a condição de nebulosidade que o céu se encontra, nos permitindo observar a influência principalmente da cobertura de nuvens na quantidade de radiação chegando à superfície (QUERINO, 2006). Dentre os constituintes atmosféricos, as nuvens são os agentes que apresentam maior variabilidade no tempo e maior impacto sobre a energia radiante do Sol. Elas interagem com a radiação solar tanto na faixa espectral do visível, quanto no infravermelho, por isso desempenham um papel de grande importância dentro do balanço radiativo do planeta (ECHER *et al.*, 2006).

Visualizando a distribuição da chuva na região do manguezal (Figura 3), percebe-se que há grande precipitação no período chuvoso (abril a julho) com máximo de 400 mm em maio, assim como uma baixa pluviometria no período seco (outubro a janeiro) com menos de 10 mm em dezembro e janeiro. Tais fatos propiciam grandes fluxos de R_g no período seco,

associada a uma baixa nebulosidade, enquanto, no período chuvoso, onde a nebulosidade é muito alta, tem-se baixos fluxos de **Rg**.

A razão para a variação de **Rg** nos dois períodos é devido basicamente a variação da transmitância atmosférica (**Kt**) (figura 4), pois, segundo Querino (2006), que fez uma abordagem detalhada de seu padrão sobre o manguezal, afirma que nos meses de verão nos horários de máxima incidência solar o **Kt** apresenta-se $\geq 70\%$, o que caracteriza uma transmissividade atmosférica muito boa. Já nos meses de maio e junho tem-se uma transmitância média inferior a 60% assinalando assim uma atmosfera menos transparente, absorvendo, refletindo e espalhando mais radiação solar, o que resulta na redução da **Rg**.

Observa-se então que a **Rg** (figura 5) apresenta fluxos médios acima de $905 \pm 160 \text{ W.m}^{-2}$ (entre 10 e 12h) durante os meses de outubro a janeiro (estação seca), assim como de fevereiro a início de março, período de transição seco-chuvoso. No período chuvoso, tem-se uma queda na **Rg** médio para menos de $700 \pm 260 \text{ W.m}^{-2}$, onde se observa fluxos inferiores a $640 \pm 270 \text{ W.m}^{-2}$ no mês de maio (menor valor médio). Percebe-se, então, que houve uma diminuição de aproximadamente 920 W.m^{-2} (máximo médio) no verão, para menos de 640 W.m^{-2} no inverno, indicando uma redução de mais de 30,4% da **Rg** incidente no dossel do manguezal, o que possivelmente influencia em uma redução significativa do **Rn**.

Querino (2006), analisando a distribuição (comportamento) médio horário da **Rg** sobre o manguezal de Maceió, observou que a mesma não é simétrica durante todo o ano. Percebeu que o crescimento da curva é mais acentuado no período matutino, como também os máximos ocorrem aproximadamente as 11:30h, o que estaria relacionado com o tempo solar verdadeiro da região, decorrente do fuso adiantada de Maceió.

Segundo Souza *et al.* (2004), que analisaram a **Rg** sobre a cidade de Maceió, verificaram que, em média, os dados máximos encontrados para o período seco foram de $886,03 \text{ W.m}^{-2}$, enquanto no chuvoso foi em torno de $630,19 \text{ W.m}^{-2}$. Tais resultados estão muito próximos aos obtidos neste trabalho. Silva Junior (2006), percebeu que no manguezal de Bragança-PA a variabilidade sazonal da **Rg** foi da ordem de 38%. O autor ainda menciona que a redução durante a época chuvosa se deve, principalmente, ao grande aumento na

nebulosidade. Para a época chuvosa obteve em média um fluxo máximo de $522,9\text{W.m}^{-2}$, enquanto na época seca foi de $825,6\text{W.m}^{-2}$, sempre ocorrendo por volta das 12:00 horas.

Estes resultados também foram relativamente próximos aos encontrados aqui, sendo que na época seca foram obtidos valores aproximadamente 10% maiores e em torno de 18% maiores na época chuvosa, isso possivelmente devido ao fato de Maceió receber maior incidência de radiação solar global devido uma melhor transmissividade atmosférica do que a região de Bragança. Pois, segundo Martins *et al.* (2007), que produziram mapas de irradiação solar global incidente na superfície do Brasil, verificaram que a região de Maceió recebe em média um fluxo de aproximadamente $5,7\text{kWh.m}^{-2}$, enquanto que a região litorânea do Pará, onde encontra-se a região de Bragança, recebe um fluxo pouco menor em torno de $5,3\text{kWh.m}^{-2}$.

Ainda, segundo os autores, isso se deve a climatologia da região oeste da Amazônia que no verão apresenta nebulosidade e precipitação elevadas devido à forte influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e mesmo durante o período de estiagem entre julho e setembro com deslocamento da ZCIT em direção ao Hemisfério Norte, tem-se associado à influência dos ventos Alísios provenientes do Oceano Atlântico que é responsável pela produção de altas taxas de precipitação de modo que essa região apresenta as menores irradiações da região Norte durante todo o ano. Embora os ventos alísios também ajudem a explicar a formação de nebulosidade e chuva na região costeira do Nordeste Brasileiro, durante todo o ano, a influência da Alta Tropical, que está associada ao anticiclone tropical do Atlântico Sul, confere um regime estável de baixa nebulosidade e alta incidência de irradiação solar para essa região.

Souza Filho *et al.* (2006), estudando a variação sazonal do balanço de radiação e de seus componentes na reserva florestal de Caxiuanã - PA, região nordeste da Amazônia, observaram que o comportamento sazonal da **R_g** teve um aumento de 15,5%, com máximos médios de 600W.m^{-2} no período chuvoso e 710W.m^{-2} no menos chuvoso. Resultados estes que estão abaixo em comparação aos obtidos aqui, sendo em torno de 6% menores para o período chuvoso e 22,8% menores para o período seco.

Vilani *et al.* (2006), analisando a sazonalidade de algumas variáveis em uma Floresta de Transição Amazônia - Cerrado no Mato Grosso, verificaram um aumento de 16% na radiação solar global, apresentando máximos médios de 560W.m^{-2} na época seca e 420W.m^{-2} na época chuvosa. E, quando comparados com os dados do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM), vê-se que os valores obtidos pelos referidos autores são muito baixos, sendo 39% menor no período chuvoso e 34% menor no período seco.

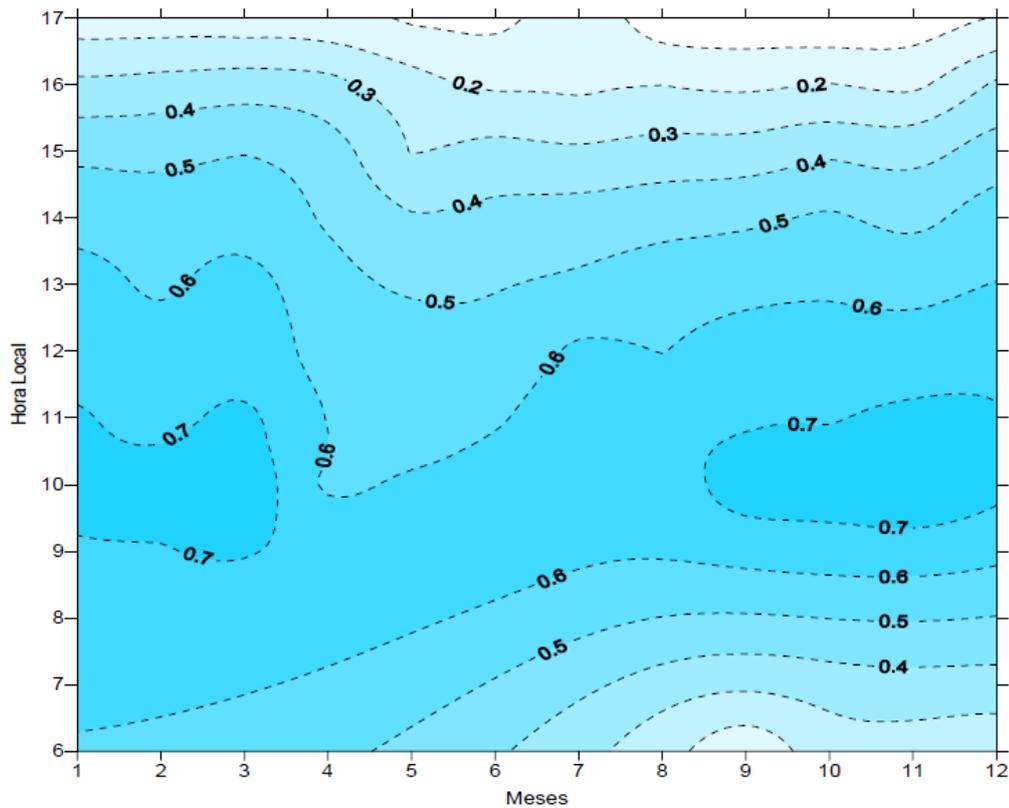


Figura 4 - Ciclo anual médio horário do Índice de Transmitância Atmosférica (K_t) (%) no período de outubro 2004 setembro de 2005 no manguezal. Fonte: QUERINO, 2006.

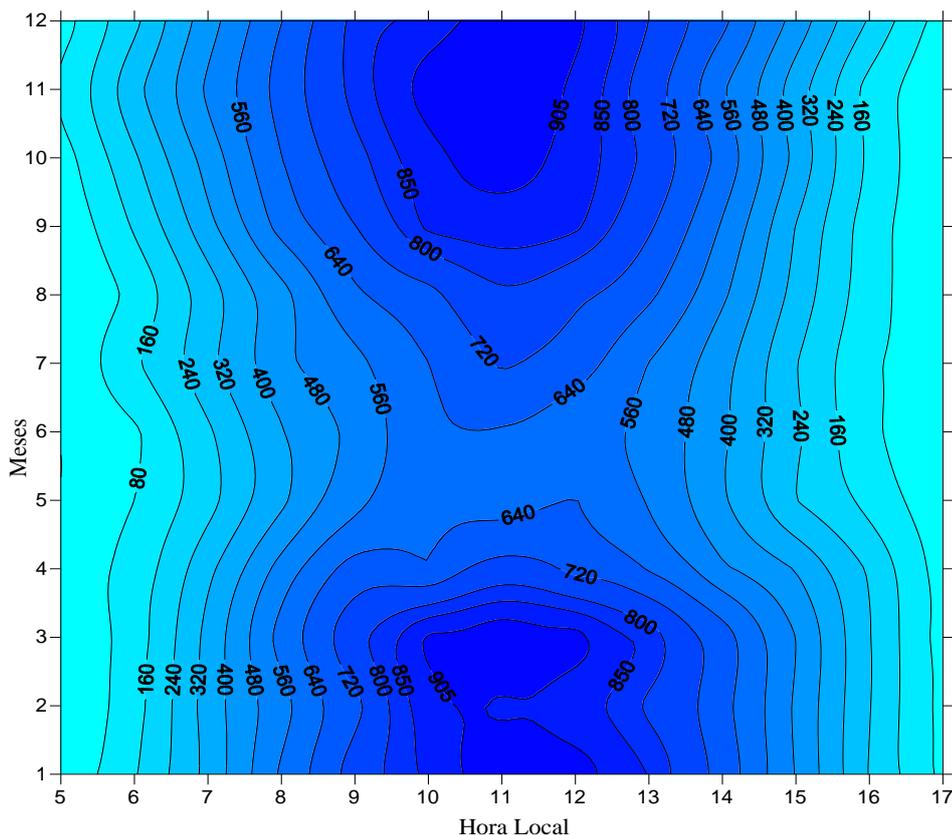


Figura 5 – Variação Sazonal anual da Radiação Solar Global (R_g) média horária ($W.m^{-2}$) sobre a região de manguezal, no período de outubro 2004 setembro de 2005.

4.2 – Variação sazonal do Saldo de Radiação (R_n).

Verifica-se na Figura 6 que o padrão comportamental do R_n nos horários noturnos apresenta um quadro de fluxos negativos, o que já era esperado para o horário. Nesse horário, o saldo de radiação é governado em função do balanço de ondas longas ($L_n = R_a - R_s$). Então, essa contabilização negativa ($R_n < 0$) se dá pelo fato da superfície terrestre ser mais quente do que a atmosfera (MILLER, 1981), proporcionando maior emissão de radiação de onda longa (R_s) do que a atmosfera (R_a). E, com o decorrer da noite, há uma queda das emissões de R_s pela superfície favorecendo o resfriamento da camada de ar junto a superfície.

Visualiza-se ainda que o R_n para metade da noite (~18 a 24h) apresenta diferenças sazonais, evidenciando maiores perdas no período seco do que no chuvoso. Então, vê-se a partir do final de setembro (final do período de transição chuvoso-seco) até aproximadamente final de fevereiro (início do período transição seco -chuvoso), fluxos de $-35 \pm 20 W.m^{-2}$ e

$-30 \pm 10 \text{ W.m}^{-2}$, respectivamente. Em destaque, de outubro a dezembro, tem-se $Rn \approx -41 \pm 15 \text{ W.m}^{-2}$. Já para os meses chuvosos (abril a julho) vê-se uma ligeira diminuição nos resultados noturnos ($-28 \pm 26 \text{ W.m}^{-2}$).

De setembro a março (com ênfase de outubro a dezembro) os resultados são dependentes das altas incidências de Rg , durante o horário diurno, que favorecidos por uma alta transmitância atmosférica $Kt \geq 0,7$ (Figura 4) (evidenciando dias claros), indicam um maior aquecimento da superfície do dossel. Sendo assim, tal fato deve proporcionar maior absorção de energia pelo manguezal no horário diurno, indicando possivelmente maior emissão de radiação de onda longa durante a metade inicial da noite, em comparação ao período chuvoso.

Essa maior emissão de ondas longas foi constatada também por Costa (2006) e Costa *et. al.* (2007) no manguezal de Bragança-PA, onde verificaram que a temperatura das folhas é maior do que do ar no horário diurno e que, durante a metade inicial da noite, há uma inversão nas medidas da temperatura do ar com a temperatura foliar, devido à perda do calor adquirido durante o dia implicando maior emissão de Rs para atmosfera adjacente e, assim, aquecendo-a. O efeito da absorção de radiação solar pelo substrato do manguezal mantém um controle do balanço de radiação, os quais funcionam como uma espécie de regulador térmico, evitando grandes amplitudes térmicas diárias (CHAPMAN, 1977; SNEDAKER, 1982; HERZ, 1988).

Então, essas maiores e/ou menores temperaturas da superfície do manguezal para o período seco e/ou período chuvoso causam maiores e/ou menores emissões de Rs para os horários noturnos. Segundo informações de Correia (2001), que estudou o comportamento das radiações de onda longa na Amazônia, verificou que os valores noturnos de Ra não apresentam uma diferença marcante entre o período seco e chuvoso, mostrando pouca variação ao longo da noite, fazendo com que Rs e Ra ficassem com valores muito próximos na metade final da noite (00 a 04h), e que tal fato pode ser esperado no comportamento noturno desse ecossistema.

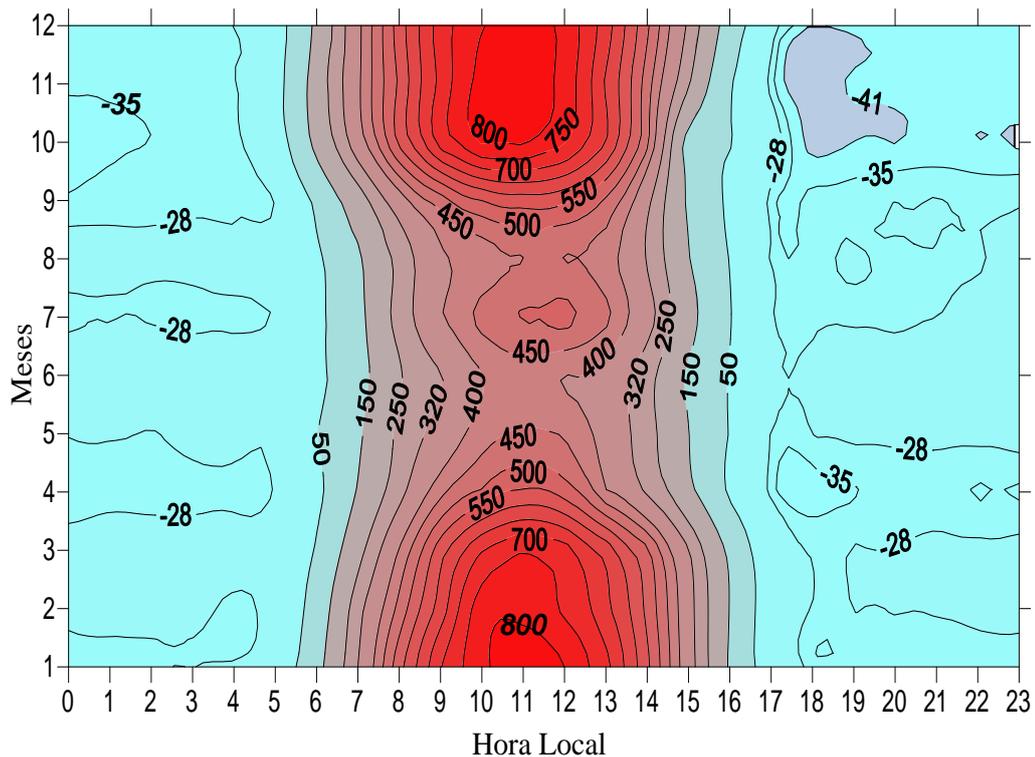


Figura 6 – Variação Sazonal anual do Saldo de Radiação (R_n) médio horário ($W.m^{-2}$), sobre a região de manguezal, no período de outubro 2004 setembro de 2005.

Observando os horários de 00 a 04h verifica-se que há uma menor variação de R_n ao longo do ano, apresentando resultados em torno de $-28 \pm 27 W.m^{-2}$. Os resultados médios de R_n , para esse horário, podem estar associados a característica da biomassa do manguezal, que mantém a energia absorvida (ao longo do período diurno) armazenada por maior tempo em seu ambiente até durante a noite. Com isso, emite R_s de modo mais intenso na metade inicial da noite e, a partir daí, decai sua emissão de forma gradual e lenta até o final noite.

Já para o horário diurno anual observa-se que há uma variação sazonal bem definida. Nota-se que, na transição do período seco para o chuvoso, há uma queda no saldo de radiação disponível aos processos físicos e biológicos do manguezal. Logo, vê-se na estação seca, entre 10 e 12h, as maiores médias de R_n ($>750 W.m^{-2}$), onde os fluxos de outubro a janeiro foram de $800 \pm 140 W.m^{-2}$, período este em que sol encontra-se no Hemisfério Sul. Enquanto, na estação chuvosa tem-se as menores médias de R_n ($<500 W.m^{-2}$) indicando nos meses de abril a julho fluxos médios de aproximadamente $480 \pm 190 W.m^{-2}$ e $450 \pm 180 W.m^{-2}$, respectivamente.

O motivo para essas alterações no **Rn** é devido as características da atmosfera em função principalmente das condições de nebulosidade, assim como por conta dos fatores astronômicos (Echer *et al.*, 2006). Já o caminho ótico a ser percorrido pelos raios solares provoca redução na quantidade de radiação que chega a superfície terrestre (copa do manguezal) por conta de maior atenuação pela atmosfera, sendo o menor caminho nos horários próximos ao meio dia e, por conseqüência, a incidência de radiação solar à superfície é mais perpendicular, provocando a chegada de mais energia (HARTMANN, 1994; QUERINO, 2006).

Souza *et al.* (2005), que analisaram a relação da **Rg** em função do **Kt** em Maceió, constataram que a **Rg** sofre mais influência da variação da cobertura de nuvens do que da declinação solar. Sendo assim, a variação da nebulosidade sobre o manguezal tem um papel importante para entendermos o comportamento sazonal do saldo de radiação. Compreende-se, então, que quanto maior a cobertura de nuvens menor será o fluxo da **Rg** incidente e, conseqüentemente, resultando em um menor **Rn** contabilizado, sendo o contrário com uma menor nebulosidade.

Verificando o **Rn** em termos de fluxos médios horários extremos, entre 10 e 12h, há os picos de aproximadamente 800 W.m^{-2} durante a estação seca e uma queda para menos de 450 W.m^{-2} na estação chuvosa. Assim, vê-se uma redução em torno de 44% no **Rn**. Tal fato é explicado a partir das alterações nas condições de turbidez atmosférica, que engloba tanto as nuvens como os aerossóis, como também devido ao caminho ótico percorrido pelos raios solares (já comentado anteriormente).

De outubro a janeiro (verão austral), meses extremamente secos por apresentarem precipitações abaixo da normal climatológica, a atmosfera encontra-se mais transparente à passagem da radiação solar, apresentando $Kt \geq 70\%$. Isso favorece um grande fluxo de **Rg**, evidenciando um maior suprimento de energia na superfície. Entretanto, de maio a junho (inverno austral), meses com chuva acima da normal climatológica, a atmosfera encontra-se menos transparente a passagem da radiação solar com $Kt \leq 70\%$. Isso causa um menor suprimento de energia em superfície devido o pequeno fluxo de **Rg** sobre o manguezal.

O fato dos máximos ocorrerem em torno das 11h30min está relacionado com o tempo solar verdadeiro, que para esta região apresenta uma defasagem média de 30 minutos. Outra informação a ser mencionado também é um núcleo de aproximadamente $500\pm 180 \text{ W.m}^{-2}$ em julho, que possivelmente estaria associado a uma ligeira diminuição da nebulosidade, acarretando maior chegada de radiação solar à copa do manguezal, sendo evidenciado pela queda brusca nas precipitações (de 380 para 110 mm).

De um modo geral, os resultados encontrados podem ser comparados com outros manguezais, assim como outros tipos de florestas. Sendo assim, Silva Junior (2006), ao estudar o manguezal de Bragança-PA, no período de 2001 a 2003, encontrou nos períodos chuvoso (fevereiro a abril) e seco (agosto a outubro) valores máximos médios para **Rn** de 410 W.m^{-2} e 620 W.m^{-2} , respectivamente, o que caracteriza uma queda de aproximadamente 33% nos valores de **Rn**.

Esses valores obtidos por Silva Junior (2006), quando comparados com o manguezal aqui estudado, vêm-se uma ligeira semelhança nos dados do período chuvoso dos dois locais, sendo muito próximos os valores, embora os períodos sejam associados a meses diferentes, devido a diferença na climatologia das regiões. No entanto, para o período seco, os valores de **Rn** do manguezal de Bragança são em torno 22,5% menores em relação aos do manguezal de Maceió, o que possivelmente estaria relacionado à menor cobertura de nuvens na região de Maceió.

No caso de florestas, Aguiar *et al.* (2006) analisando uma área de floresta tropical úmida (floresta amazônica), no sítio experimental da Reserva Biológica do Rio Jaru (Rondônia), observou que a variabilidade sazonal do **Rn** não apresentou considerável variação. O saldo de radiação teve uma variação máxima antes do meio-dia local e foi tipicamente negativo à noite. Esta variação apresentou mínimo de -33 W.m^{-2} durante a noite (próximo ao encontrado neste trabalho). No período chuvoso e no período seco o autor encontrou os seguintes picos médios de 500 W.m^{-2} e 547 W.m^{-2} , respectivamente. Em relação ao manguezal local, os valores do período chuvoso encontrados por Aguiar *et al.* (2006) são 14% maiores e no período seco são 32% menores.

O autor constatou ainda que embora tenha ocorrido uma pequena variação sazonal de Rn , os fluxos de calor latente e sensível apresentaram clara variação. As medidas de fluxo de calor latente indicaram redução de 19,6% na estação seca e as medidas de fluxo de calor sensível chegaram a dobrar seus valores na mesma estação.

4.3 – Sazonalidade das componentes do Balanço de Radiação.

A avaliação dos diferentes componentes do balanço de radiação na superfície indica como a entrada de radiação no sistema atmosfera-Terra é dividida e usada. O balanço ou saldo de radiação representa as fontes e sumidouros de radiação que afetam as condições meteorológicas (ASSIS, 2008). Sendo assim, dentro da abordagem feita até então, averigua-se algumas variáveis que contabilizam o saldo de radiação (α , S_n , L_n), pois a partir de seus comportamentos sazonais, pode-se visualizar melhor o padrão de sua distribuição ao longo do ano.

4.3.1 – Variação sazonal do Albedo (α)

O albedo de uma vegetação é uma medida de refletância da luz durante o dia, onde é maior ou menor, de acordo com as características da superfície e o ângulo de elevação solar (tanto diário quanto horário) (SILVA NETO, 2006). É resultante da razão entre a radiação refletida pela superfície e a radiação global incidente. Então, buscar entender o comportamento do Saldo radiação sobre o manguezal está, também, associado à necessidade de verificar o padrão comportamental do albedo, pois Rn é dependente de sua variação.

A necessidade de verificar suas variações sazonais se faz importante, pois mostra o quanto de radiação solar é perdida pela reflexão do manguezal. Evidenciando a quantidade de energia solar que não será utilizada nos processos físico-biológicos do local. Segundo Penndorf (1956), essa perda afeta o balanço térmico, pois manifesta maior ou menor capacidade de absorção de radiação solar incidente pelo local.

Observando a distribuição anual e horária do albedo (Figura 7), percebe-se que o albedo (entre 9 e 14hs) no período seco apresenta, em média, um percentual de aproximadamente 17,8%. Porém, no período chuvoso, percebe-se uma discreta diminuição do mesmo para aproximadamente 16,5%. Isso evidencia que durante o período chuvoso devido ao menor coeficiente de reflexão, há maior absorção de radiação solar pelo dossel em função de um maior volume de água precipitada sobre o mesmo e, como no período seco o volume é menor, então a reflexão da radiação solar é favorecida. Caracteriza assim um dos motivos pelo qual há essa redução, do período seco para o chuvoso, evidenciando que esse diferencial de energia solar associada à diminuição albedo é contabilizado no saldo de radiação, sendo utilizado principalmente na forma de radiação de ondas longas na época chuvosa.

Comparando com os dados de albedo obtidos por Souza e Costa (2002) no manguezal de Bragança (entre 9 e 16h), eles encontraram, no período seco, valores da ordem de 17%, já no chuvoso, valores da ordem de 16%. Evidenciando que os resultados entre o manguezal de Bragança e de Maceió são muito próximos indicando que seus padrões sazonais de comportamento são semelhantes. No entanto, quando confrontado com albedo de florestas como, por exemplo, da Amazônia, vemos que os valores encontrados no manguezal são maiores.

Souza Filho (2006) obteve para a floresta de Caxiuanã-PA valores médios diários do albedo durante o período chuvoso da ordem de 8,2%, e 11,9% para o período menos chuvoso. Cirino (2008) também avaliou o comportamento do α sobre Caxiuanã, durante 120 dias (englobando tanto o período chuvoso quanto seco), determinou que seus valores não ultrapassaram 11%, ou seja, abaixo dos resultados aqui encontrados. Para a Reserva Ducke (Manaus-AM), Culf *et al.* (1995) determinaram uma variação no albedo sazonal com valor mínimo de 10,9% em abril (mês chuvoso) e máximo de 12,8% em agosto (mês seco).

A explicação para essas diferenças sazonais do albedo, segundo Souza Filho (2006) são decorrentes de três fatos: da frequência de molhamento do dossel, do estado hídrico da floresta e do índice de área foliar (IAF), uma vez que no período chuvoso há maior frequência

de molhamento do dossel e maior disponibilidade hídrica para a floresta, assim como menor IAF, enquanto no período seco ocorre o contrário.

Compreende-se então que a variação sazonal do albedo, dentre esses três fatores, é influenciada de forma particular pela variação sazonal da precipitação entre o período seco e chuvoso, que afeta de forma mais significativa as condições físico-biológicas da vegetação do local, isso porque quanto maior a quantidade de água sobre a vegetação melhor será a absorção de radiação solar. Geiger (1990) menciona que porções de terreno ou de plantas quando se cobrem de água, os raios de luz podem penetrar nesta película de água, vindos de qualquer direção, mas não saem senão aqueles que possuem o ângulo limite de reflexão total, ou seja, pequenos ângulos de elevação solar. E a porção de radiação não refletida pela superfície é completamente absorvida.

Em relação à área foliar do dossel do mangue há uma possibilidade de que haja uma ligeira mudança em sua estrutura, pois, segundo Schmidt (1988), na estação chuvosa, há um aumento da queda das folhas, enquanto na estação seca uma diminuição. Ribeiro (2001) ainda complementa que, no período em que as árvores perdem grande quantidade de folhas, a atenuação da radiação solar pelo dossel é reduzida, tendo um aumento da contribuição do substrato na absorção da radiação solar incidente. Em contra partida, quanto mais denso o mangue, maior quantidade de radiação solar incidente pode ser absorvida pela folhagem e a atenuação da insolação aumenta progressivamente com o incremento da área foliar.

Conforme esses comentários, embora não tenha sido calculado o IAF para o manguezal de Maceió, espera-se que possivelmente no período chuvoso o dossel apresenta uma área foliar um pouco menos denso do que no período seco, devido à possível queda da folhagem, favorecendo uma diminuição do albedo do manguezal, em contrapartida aumento do α na estação seca.

Ainda com relação à cobertura natural, em nível de informação, Querino (2006) realizou uma comparação entre o comportamento do albedo sobre a copa do mangue e a superfície interna durante o mês de outubro de 2005 (período seco). Nele o autor observou que a fração interna é bem menor do que a externa, não ultrapassando o registro médio

máximo de 13% (10 às 14hs), isso perante o fato de que foram detectados 21 dias onde a maré, estaria cheia, enchendo, ou nem muito seca nem muito cheia (popular maré morta).

As diferenças dos albedos entre as florestas de manguezal e da Amazônia, podem ser, segundo Moura *et al.*, (1999), devido à estrutura do dossel ou ao tipo de planta, fazendo com que o albedo para o manguezal apresenta-se, em média, um maior percentual do que os registros para florestas tropicais, pois a densidade do dossel na Amazônia é bem maior se comparada com o manguezal em questão, retendo mais radiação.

Outro fato já esperado é uma tendência dos valores de albedo serem menores ao meio dia e maiores durante as primeiras e últimas horas do dia. O fato está relacionado aos menores ângulos de elevação solar ao nascer e pôr-do-sol, quando o processo de reflexão da radiação é favorecido, ocorrido principalmente pela deposição de orvalho ou ocorrência de chuva noturna, já no final da tarde a precipitação também pode favorecer o aumento do albedo. Pois, conforme dito anteriormente, os raios de luz podem penetrar nestas películas de água, vindos de qualquer direção, mas não saem senão aqueles que possuem o ângulo limite de reflexão total, ou seja, pequenos ângulos de elevação solar.

Segundo Eck e Deering (1992), para ângulos de elevação pequenos, a radiação solar incidente não penetra muito nas aberturas do dossel, ocorrendo assim uma redução da absorção pelo espalhamento múltiplo, o que concorre para uma maior reflexão à superfície e, conseqüentemente, um albedo maior. Os autores também perceberam que menor albedo, para ângulos de elevação maiores, deve-se a uma maior penetração de radiação no dossel, resultando num aumento da absorção e espalhamento abaixo do topo.

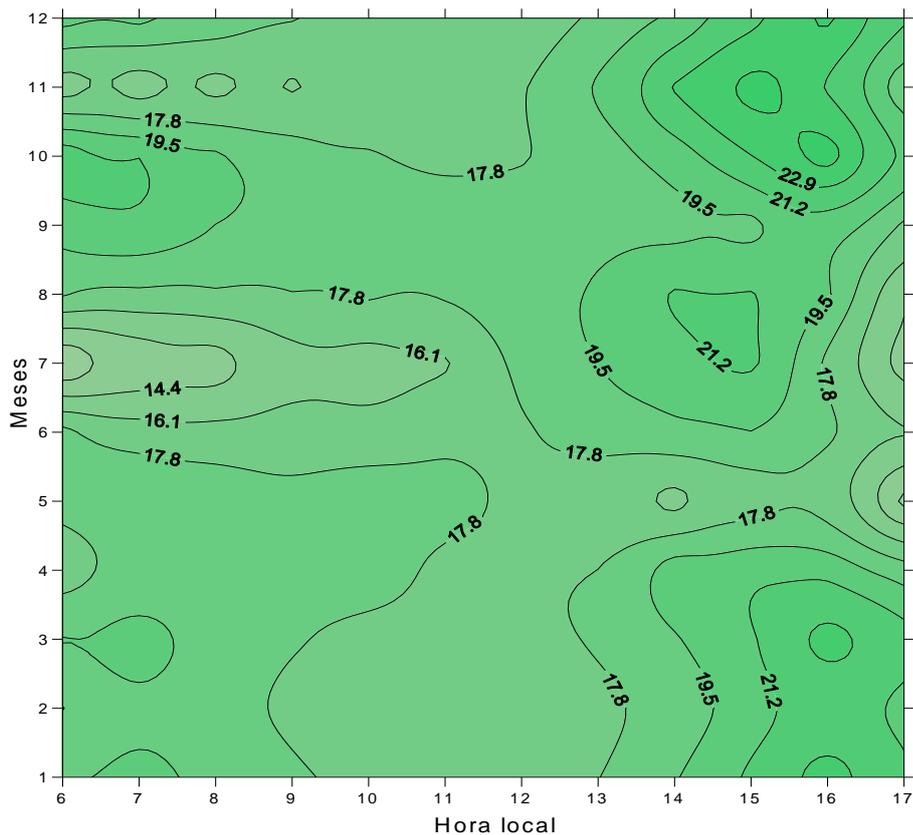


Figura 7 – Variação Sazonal anual do Albedo (α) médio horário (%) sobre a região de manguezal, no período de outubro 2004 setembro de 2005.

Outra informação a ser mencionada é que, a partir das 14h, verifica-se um aumento do albedo praticamente o ano todo (reduzido na estação chuvosa), a explicação para tal aumento possivelmente está associado a grandes reflexões de energia no período vespertino favorecendo o aumento do α . Mas a principal causa deve ser explicada pela distribuição horária da chuva no manguezal, já que Querino (2006) observou que durante a tarde, principalmente na estação seca, praticamente não houve precipitação nos horários vespertinos. Então, de acordo com as informações já relatadas até o momento, pode-se afirmar que o dossel permaneceu predominantemente seco na maior parte do tempo neste intervalo de tempo, o que favorece a maior reflexão da radiação solar pelo dossel e, por sua vez, o aumento do albedo.

4.3.2 – Variação do Balanço de ondas curtas (S_n) e ondas longas (L_n).

Compreender como o R_n varia durante o ano no manguezal concretiza-se com a visualização do padrão comportamental do S_n e do L_n , pois, a partir daí, percebe-se como o fluxo de energia proveniente do Sol é balanceado entre ondas curtas e longas sobre este local e, assim, contabilizar o saldo de energia disponível para ser utilizada nos diferentes processos físico-biológicos deste ecossistema tão importante.

Verificando a distribuição sazonal do S_n (Figura 8) e do L_n (Figura 9) pode-se observar que no período seco têm-se (entre 10 e 12h), respectivamente, saldos máximos médios em torno de 860W.m^{-2} e -57W.m^{-2} . Tais resultados indicam que do total de energia disponível através do S_n , o manguezal perde em torno de 7% de energia em ondas longas, o que corresponde à contabilização final do R_n de aproximadamente 803W.m^{-2} , sendo este o saldo final de energia disponível para o manguezal neste período.

Como já esperado, para a estação chuvosa temos uma sazonalidade bem diferente nos balanços de ondas curtas e longas. Observa-se que o S_n apresenta uma queda (entre 10 e 12h) para menos de 480W.m^{-2} , resultado que evidencia uma diminuição em torno de 44% no saldo de ondas curtas, enquanto que o L_n apresenta um aumento da energia perdida em ondas longas em torno de -38W.m^{-2} , sendo que esta perda é em torno de 7,9%, quando se contabiliza o R_n para este período, o que corresponde a saldos de aproximadamente 442W.m^{-2} .

Como se pode notar a variação do S_n e do L_n entre a estação seca e chuvosa é bastante evidente, sendo assim, entender seus comportamentos sazonais passa pela compreensão da sazonalidade do R_g e α do local. Como estas variáveis já foram averiguadas anteriormente, a partir desse conhecimento, já se tem uma visão parcial para o entendimento do padrão anual de R_n sobre o manguezal, contudo esse entendimento se torna completo quando as análises individuais dessas variáveis são relacionados para explicar a distribuição do S_n e L_n ao longo do ano. De um modo geral, a explicação para a diminuição, da estação seca para a chuvosa, do S_n observado se dá pela ação conjunta da queda brusca nos fluxos do R_g , ocorrido pela mudança na cobertura de nuvens, o que afeta drasticamente a

transmissividade atmosférica, e pela perda de energia de ondas curtas pela refletância da superfície.

Por outro lado, a característica sazonal do *Ln* de ser mais negativa durante a estação seca do que chuvosa é decorrente principalmente do maior fornecimento de energia sobre o manguezal no período seco. A compreensão para esse comportamento na estação chuvosa, segundo Souza Filho (2006), pode ser explicado em razão deste período apresentar temperatura menor, maior cobertura de nuvens e mais umidade, contribuindo assim para tornar o balanço de *Ln* menos negativo. Isso porque o balanço de radiação de onda longa é controlado, basicamente, pelas temperaturas do ar e do solo, pela nebulosidade e pelas concentrações de vapor d'água e dióxido de carbono na atmosfera.

O autor ainda comenta que o vapor de água e o CO₂ são considerados como termorreguladores atmosféricos, em razão da capacidade de absorver radiação de ondas longas e promover o efeito estufa. As nuvens são extremamente eficientes na absorção de ondas longas, atuando no espectro de radiação na faixa de comprimentos de onda referente à janela atmosférica de 8 a 12µm; portanto, sua presença minimiza, consideravelmente, o resfriamento radiativo da superfície. Quanto maior a temperatura da superfície, maior será sua emissão de radiação de onda longa. Por outro lado, com o aumento da temperatura do ar, há um aumento da contra radiação atmosférica, porém a superfície continua emitindo mais radiação de onda longa do que a atmosfera. Então, a maior temperatura da água no período seco e, conseqüentemente, a maior temperatura do ar, justificam o *Ln* mais negativo encontrado neste período.

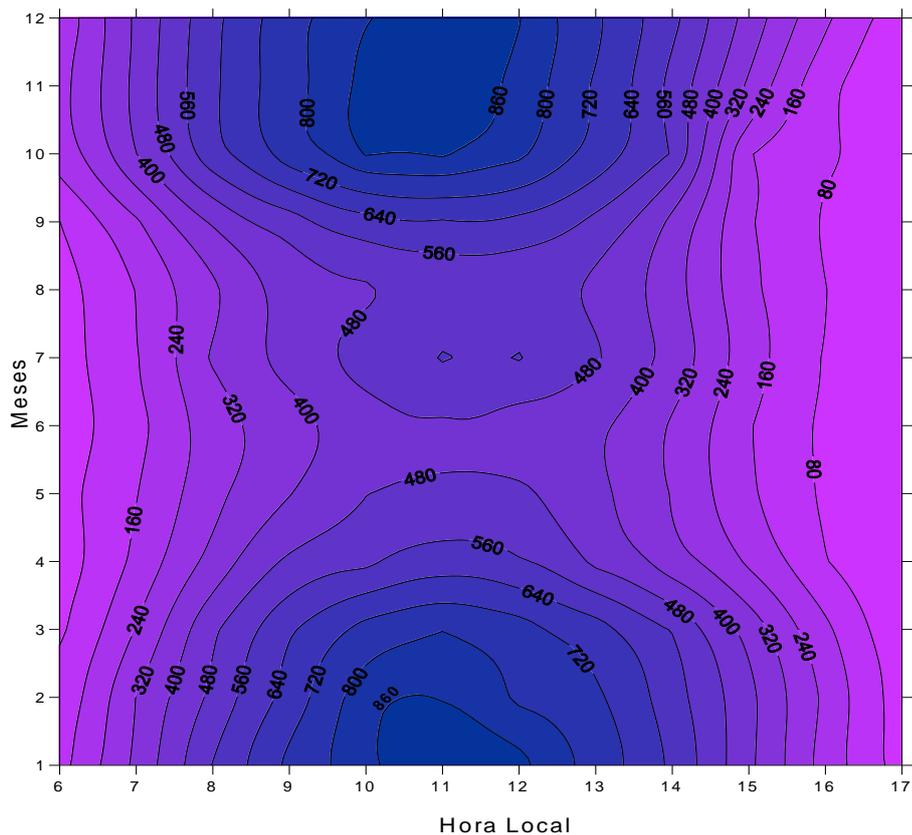


Figura 8 – Variação Sazonal anual do Balanço de ondas curtas (S_n) médio horária (W.m^{-2}) sobre a região de manguezal, no período de outubro 2004 setembro de 2005.

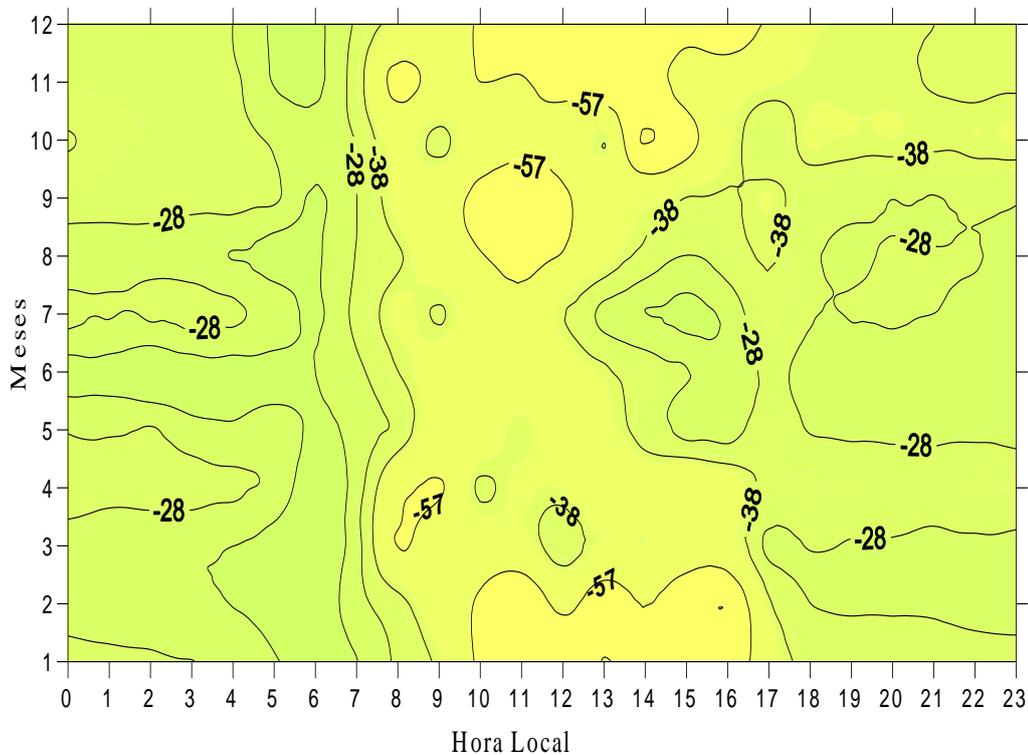


Figura 9 – Variação sazonal anual do Balanço de ondas longas (L_n) médio horário (W.m^{-2}) na região de manguezal, no período de outubro 2004 setembro de 2005.

4.4 – Estudo de caso: Variação do Rn externo e interno.

Um dos fatores mais importantes que influem no microclima é a atenuação da radiação solar pela copa das florestas naturais, por atuar diretamente no balanço de energia e, conseqüentemente, nas condições ambientais (HERNANDES *et al.*, 2004). Contudo, é importante salientar que a arquitetura do dossel da floresta influencia fortemente na interceptação e na transmitância da radiação solar, estando dessa forma ligada à espécie de árvore (HARDY *et al.*, 2004).

No mês de outubro de 2005, teve-se uma particularidade dentro das medidas feitas no ecossistema de manguezal, pois houve a oportunidade de ser instalado um saldo radiômetro abaixo da copa (2m). Dentro dessa abordagem, presume-se que os sistemas florestais são fechados em seu interior o que acarretaria, teoricamente, em um saldo de radiação igual a zero ($Rn = 0$). Porém, em um sistema de manguezal, em particular o de Alagoas, verifica-se que a estrutura arbórea não propicia tais condições na prática.

Este ecossistema não apresenta uma copa muito densa, o que permite a existência de diversas aberturas de diferentes tamanhos entre as folhagens, permitindo que a contabilização do Rn interno (Rn_{int}) seja diferente de zero, já que facilita não só a penetração de radiação solar no interior, como também o vento devido sua localização geográfica.

Verificando a média mensal do Rn externo (Rn_{Ext}) e interno (Rn_{int}) no local (figura 10), percebe-se que há uma redução máxima de energia de aproximadamente 74% para o interior, correspondendo a uma queda de aproximadamente $438W.m^{-2}$ na energia disponível, onde se tem uma diferença de saldo médio máximo (11h) de $592\pm 94W.m^{-2}$ para o ambiente externo e $153\pm 110W.m^{-2}$ para o interno.

Como já mencionado, essa queda no saldo interno é provocada, principalmente, pela copa das árvores que intercepta grande parte da radiação global incidente reduzindo sua entrada no interior do manguezal, modificando o padrão energético interno e favorecendo um Rn interno menor. Segundo Querino (2006), a interceptação ocasiona um Rg_{int} médio (11h) de aproximadamente $200W.m^{-2}$.

O autor verificou relação Rg_{int}/Rg_{Ext} obtendo assim a atenuação da radiação solar ao penetrar na vegetação ou transmitância através do dossel da floresta, encontrou no mês de outubro uma transmitância máxima de 25%, atenuando cerca de 75% da Rg_{Ext} . É esse percentual de radiação que atravessa a copa que garante a contabilização de aproximadamente $153W.m^{-2}$ do Rn_{int} .

Quando comparado o nível de transmitância de outros tipos de florestas, caracterizados pela suas copas mais densas, os percentuais são bem mais baixos. Schumacher (1992), que fez medidas em uma floresta de eucalipto, encontrou uma transmitância média de 15,6% no verão e 12,9% no inverno. Medidas de transmissão feitas ao nível do solo, na Amazônia, feitas por Shuttleworth *et al.* (1984) e Januário *et al.* (1992), apresentaram, respectivamente, variações de 1,2% em Manaus e 4,7% em Tucuruí. Espera-se, então, que nesses sistemas florestais os valores do Rn_{int} sejam bem menores do que no ecossistema de manguezal.

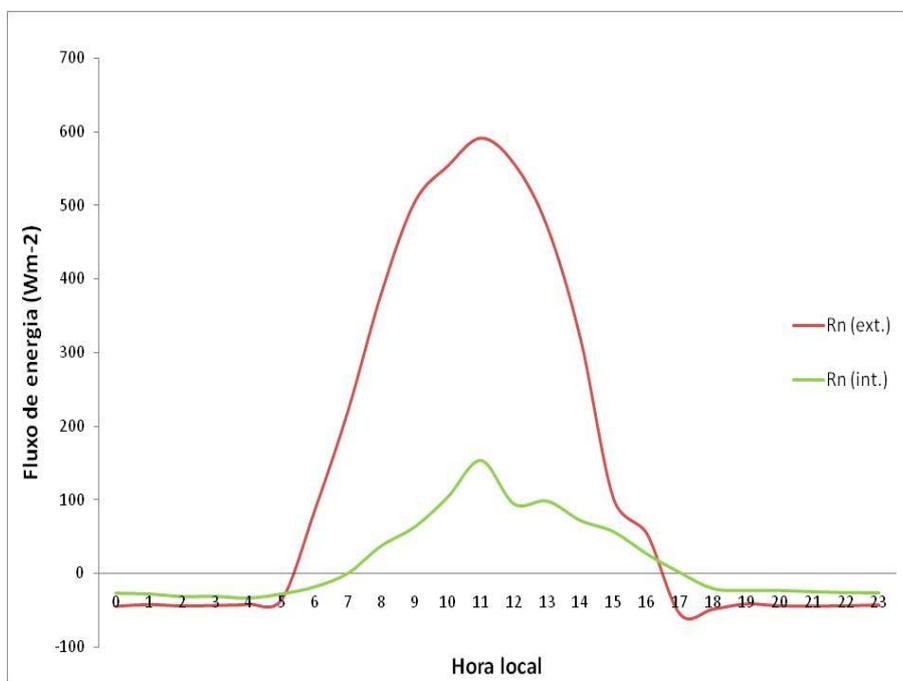


Figura 10 – Diferença entre o Saldo de Radiação (Rn) médio mensal horário externo e interno em outubro de 2005.

4.4.1 – Variação dos componentes do Balanço de Energia.

A partir dos valores do Rn_{int} , com o intuito de entender como se dá a partição de energia no interior do manguezal, foram estimadas as componentes do balanço de energia para o ambiente interno, por meio do método da razão de Bowen, utilizando os dados de temperatura e umidade relativa do ar (2m e 4m). Percebe-se que em torno de 11h da manhã, onde há os maiores saldos médios do Rn_{int} (figura 11), uma grande parte dessa energia disponível é usado no calor latente (LE), correspondendo aproximadamente 86% do Rn_{int} . (LE/Rn_{int}), ou seja, em torno de $131,3 \text{ W.m}^{-2}$. Enquanto uma pequena parte do Rn_{int} é usado para o calor sensível (H), aproximadamente 8,4% do Rn_{int} . (H/Rn_{int}), ou seja, em torno de $12,8 \text{ W.m}^{-2}$.

Percebe-se que, em média, durante o mês de outubro, a maior parte do Rn_{int} foi utilizada para evapotranspiração e somente um pequeno percentual para o aquecimento do ar. Esse maior percentual do LE é favorecido pelo inundamento periódico da superfície decorrente das marés, propiciando uma maior disponibilidade de água com potencial evaporativo. Principalmente pelo fato de que foram detectados 21 dias onde a maré, estaria cheia, enchendo, ou nem muito seca nem muito cheia (popular maré morta), como mencionado anteriormente.

Outro fator que influencia na característica do microclima do manguezal é o vento. Segundo Ribeiro (2001), o vento é um mecanismo de transporte de gás carbônico, vapor d'água e calor sensível, entre a vegetação e a atmosfera, e a velocidade do vento é maior durante o período diurno, sob efeito do balanço de Radiação positivo e inverso ocorre durante a noite, quando o balanço de radiação é negativo.

Estudos feitos por Santos (2008) revelam que no manguezal de Alagoas, em outubro, a velocidade interna do vento é, em média, de $0,24 \text{ m.s}^{-1}$. Embora seja baixa, essa velocidade possivelmente deve favorecer um pequeno acréscimo do LE , já que, segundo Pereira *et. al* (1997), a atmosfera em movimento, mistura e renova o ar que envolve a superfície, dificultando que o mesmo se sature, mantendo um déficit de saturação e, por consequência, a

continuidade do processo evaporativo (mesmo que baixo) e, ele ainda afirma que, quando a superfície estiver umedecida, maior parte do Rn será utilizado em LE .

De acordo com a equação 6, o balanço de energia é finalizado com a plotagem da variação média horária do fluxo de calor no solo (G). Observa-se uma partição máxima de energia utilizado no G de aproximadamente $9W.m^{-2}$, representando cerca de 5,89% do Rn_{int} (G/Rn_{int}). É visto que, durante o ciclo diurno, há maior predominância de valores positivos, enquanto que durante a noite o sinal de G é negativo.

Segundo Rodrigues (2006) e Ribeiro (2001), os valores positivos significam transporte de calor no sentido da superfície para as camadas mais inferiores do solo, ou seja, durante o dia o solo absorve radiação de onda curta, se aquece e transfere parte dessa energia por condução molecular para camadas mais inferiores do solo que apresentam temperaturas mais baixas. Durante a noite o sinal de G é negativo, representando transporte de calor no sentido inverso aquele observado durante o dia, ou seja, a transferência dá-se de níveis mais profundos do solo em direção à superfície que se resfria por perdas radiativas de onda longa.

Em relação à mudança de sinal do G (negativo para positivo), durante a manhã (9hs), possivelmente está associado ao solo inundado do manguezal, decorrente das marés, que devido à capacidade térmica da água de se aquecer de modo mais lento quando comparado com um solo seco, tende a atrasar o fluxo de calor no sentido da superfície para as camadas mais inferiores do solo. Isso aliado ao fato, conforme Ribeiro (2001), de que os processos de dissipação, quando o balanço de radiação é negativo (madrugada), passam a predominar sobre o processo de aquecimento da superfície do solo, de modo a promover o seu resfriamento até o início do dia, embora o balanço de radiação seja positivo.

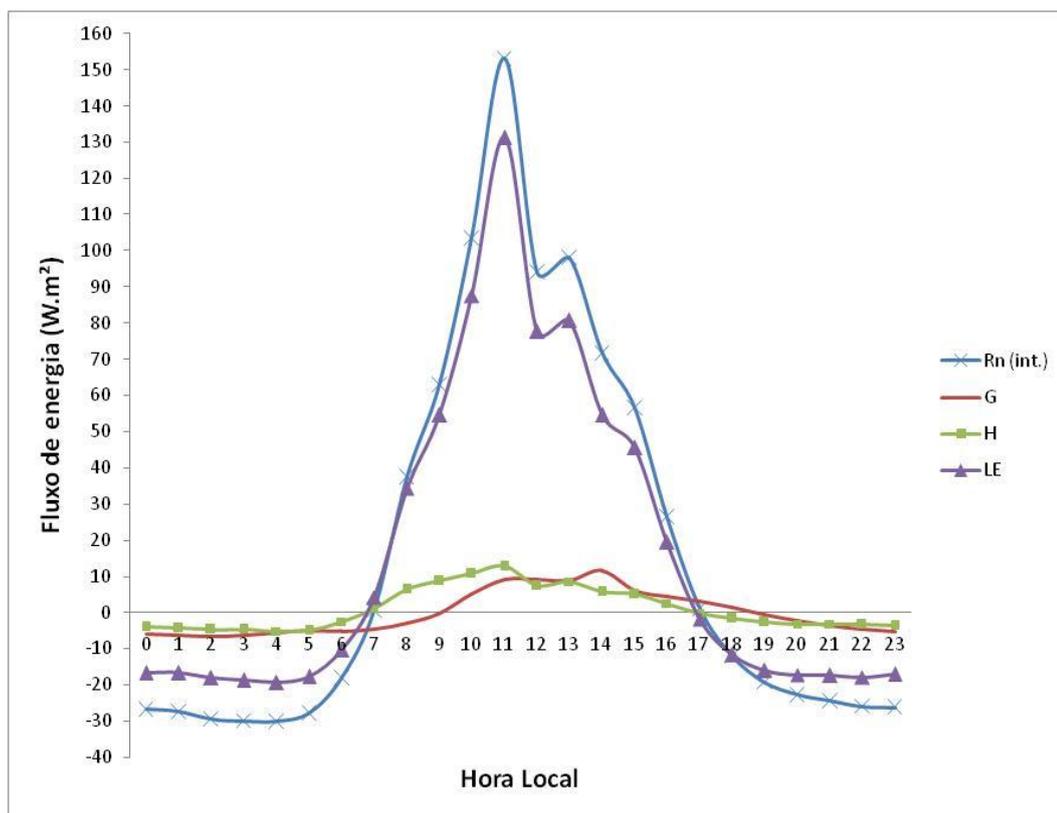


Figura 11 – Variação média horária dos componentes do Balanço de Energia no interior do manguezal no mês de outubro de 2005.

4.5 – Estimativa do Rn por meio de equações empíricas.

O saldo de radiação sobre um dossel vegetal representa a quantidade de energia na forma de ondas eletromagnéticas que este dispõe para repartir entre os fluxos de energia necessários aos processos de evapotranspiração, aquecimento do ar, aquecimento do solo e fotossíntese (OKE, 1987), além do próprio aquecimento da biomassa (THOM, 1975).

Devido às relativas dificuldades para se medir alguns fluxos radiativos à superfície, muitos pesquisadores são forçados a usar métodos teóricos ou empíricos no intuito de tentar estimar alguns desses fluxos usando variáveis meteorológicas ou alguns fluxos medidos a superfície (DA SILVA, 2005), muitas vezes com objetivo de obter o Saldo de Radiação a superfície. Então, executou-se a elaboração de equações obtidas por meio de regressões visando à estimativa do Rn horário em função Rg horário, variável de fácil obtenção em sítios experimentais.

A regressão é uma técnica estatística usada para explorar a natureza da relação entre duas variáveis aleatórias contínuas, com isso é possível investigar a mudança em uma variável, chamada resposta (**Rn**), correspondente à mudança na outra, conhecida como variável explicativa (**Rg**). O objetivo máximo da análise de regressão é prever ou estimar o valor resposta associado com um valor fixo da variável explicativa (PAGANO; GAUVREAU, 2004).

Para aplicações práticas, o **Rn** pode ser descrito empiricamente pela equação de regressão: $Rn^* = aRg + b$. Sendo **a** e **b** ($W.m^{-2}$) constantes determinadas pela regressão linear, onde **a** (coeficiente angular) incorpora tanto o efeito da refletividade da superfície a radiação solar como da diferença entre os valores médios diurnos e noturnos do saldo de radiação de onda longa. Já a constante **b** (coeficiente linear) assume um valor muito próximo do valor médio do saldo de radiação de onda longa noturna (MOURA, 2001). Para cada mês do período aqui estudado, foram usados cerca de no mínimo 3793 pares de dados medidos a cada 5 minutos, garantindo uma robustez estatística dos resultados.

Na Figura 15 encontra-se as regressões lineares entre **Rn** e **Rg** para os meses do período seco e chuvoso no manguezal Alagoano e, por meio destes, foram obtidos as equações empíricas com o intuito de estimar o **Rn*** em função da radiação de ondas curtas incidente. Assim sendo, verifica-se que para o período seco e chuvoso foram formulados as seguintes equações:

- $Rn^* = 0,843 Rg - 35,65$ (período seco);
- $Rn^* = 0,786 Rg - 28,69$ (período chuvoso).

Através do coeficiente de determinação (R^2) do período seco de 0,909 e da época chuvoso de 0,908, evidencia-se que as equações possuem ajustes de caráter satisfatório para estimar o **Rn** local. É possível verificar que os coeficientes lineares (**b**) quando cruzados com os valores médios do saldo de radiação de onda longa noturna (Figura 6), apresentam valores próximos da realidade, o que também comprova que as equações estão bem ajustadas para possibilitar a estimativa do saldo de radiação.

Outros autores também utilizaram a regressão linear para produzir formulas estimadoras, segundo os pesquisadores Shuttleworth *et al.* (1984), Leitão (1994) e Santo (2006), que estudaram a floresta Amazônica nos meses de agosto e setembro (período de estiagem na região), e Moura (2001) que a estudou nos meses de janeiro a março (período chuvoso), tiveram a possibilidade de obter as seguintes equações empíricas:

- $Rn^* = 0,858Rg - 35,0$ (SHUTTLEWORTH *et al.*, 1984);
- $Rn^* = 0,802Rg - 36,1$ (LEITÃO, 1994);
- $Rn^* = 0,83Rg - 38,4$ (SANTO, 2006);
- $Rn^* = 0,852Rg - 22,6$ (MOURA, 2001).

Ao compararmos estas equações, propostas para outras regiões, com as aqui formuladas neste trabalho, podemos observar que estão com um padrão bem próximo delas, indicando que temos aqui equações com a possibilidade de gerar resultados razoáveis para o manguezal. As diferenças podem decorrer em função da diferença de estrutura dos dosséis, que associado ao maior suprimento de energia no manguezal de Alagoas, juntamente com a maior diferença de saldo de radiação de onda longa, sendo mais negativa no manguezal, correspondendo a saldos médios mínimos de aproximadamente $-57W.m^{-2}$, do que na floresta, onde Souza Filho (2006) observou saldos médios mínimos de $-50W.m^{-2}$, fornece a possibilidade de gerar dados com garantia de uso através das equações empíricas.

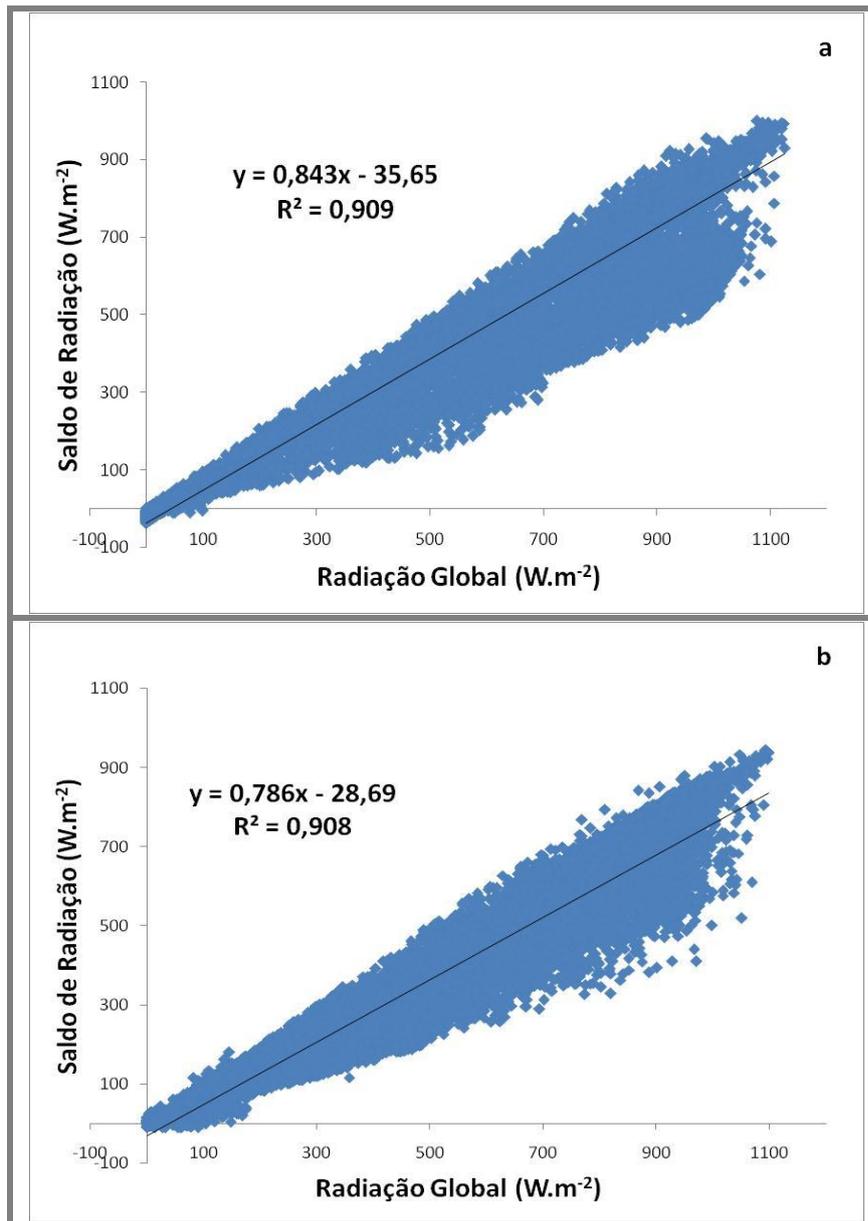


Figura 12 - Regressão linear entre o Rn e o Rg para o período seco (a) e chuvoso (b).

Dentro desta abordagem, também foram feitas regressões entre Rn e Sn , com o intuito de poder comparar com as equações já geradas, assim como verificar produzir formulas que pudessem acompanhar o comportamento mensal das características climatológicas do local. Com base nessas regressões (Anexos A), foram encontradas correlações satisfatórias para os vários meses estudados, pois os coeficientes de determinação (R^2), que podem ser mais bem observados na Tabela 1, foram todos superiores a 0.8, indicando que as equações aqui propostas também podem se mostrar eficientes para estimar o

Saldo de energia disponível sobre o manguezal, sendo desta vez incluída a influência do albedo nas formulas mensais, assim como tende uma boa relação com as feitas de forma geral para o período seco e chuvoso.

Tabela 1 – Equações empíricas para estimar o Saldo de Radiação (Rn^{**}) obtidos através da regressão linear entre o Rn e o Sn ; (a) coeficiente angular; (b) coeficiente linear; (R^2) coeficiente de determinação; albedo (α) ; (mês') ano 2004; (mês'') ano 2005.

Meses	a	b	Rn^{**}	R^2
outubro'	0,999	- 28,93	$Rn = 0,999 (1 - \alpha) Rg - 28,93$	0,991
novembro'	1,066	- 37,63	$Rn = 1,066 (1 - \alpha) Rg - 37,63$	0,934
dezembro'	1,081	- 34,93	$Rn = 1,081 (1 - \alpha) Rg - 34,93$	0,989
janeiro''	1,082	- 32,03	$Rn = 1,082 (1 - \alpha) Rg - 32,03$	0,992
fevereiro''	1,035	- 17,94	$Rn = 1,035 (1 - \alpha) Rg - 17,94$	0,998
março''	1,063	- 26,12	$Rn = 1,063 (1 - \alpha) Rg - 26,12$	0,985
abril''	0,846	- 33,37	$Rn = 0,846 (1 - \alpha) Rg - 33,37$	0,935
maio''	0,892	- 20,41	$Rn = 0,892 (1 - \alpha) Rg - 20,41$	0,936
junho''	0,889	- 20,51	$Rn = 0,889 (1 - \alpha) Rg - 20,51$	0,959
julho''	0,905	- 26,08	$Rn = 0,905 (1 - \alpha) Rg - 26,08$	0,957
agosto''	0,874	- 21,25	$Rn = 0,874 (1 - \alpha) Rg - 21,25$	0,930
setembro''	0,834	- 27,12	$Rn = 0,834 (1 - \alpha) Rg - 27,12$	0,887
outubro''	0,821	- 38,98	$Rn = 0,821 (1 - \alpha) Rg - 38,98$	0,890

5 – CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados neste trabalho e das discussões levantadas, referentes à análise da variação sazonal do saldo de radiação no manguezal alagoano, em função de diferentes fatores, chegou-se às seguintes conclusões:

➤ A sazonalidade do saldo de radiação (**Rn**) denotou uma redução de aproximadamente 44% na contabilização média máxima, decorrente, principalmente, da variação sazonal da nebulosidade, afetando assim diretamente na transmitância atmosférica (**Kt**), onde, na estação seca, viu-se a predominância de dias com céu limpo, enquanto que na estação chuvosa houve a prevalência de dias com céu parcialmente nublado ou nublado, resultando em uma diferença sazonal na contabilização do **Rn** em torno de 350W.m^{-2} .

➤ O balanço de ondas curtas (**Sn**) apresentou uma diminuição, entre as estações, por volta de 44% na média máxima, o que propicia uma variação sazonal em torno de 380W.m^{-2} no **Sn**. Tal diferença é basicamente resultante da sazonalidade na radiação solar global (**Rg**), já que o albedo praticamente não varia ao longo do ano no manguezal, onde a **Rg** teve uma redução do período seco para o chuvoso de cerca de 30,4% na incidência média máxima, indicando uma variação de mais de 280W.m^{-2} nos registros sazonais, provocado pela mudança nos níveis da **Kt**.

➤ A variação no balanço de ondas longas (**Ln**), durante o ano, foi de aproximadamente 33,3%, caracterizando uma diferença por volta de -19W.m^{-2} . Percebeu-se, então, que o período seco perda mais radiação de onda longa do que o chuvoso, possivelmente propiciado, principalmente, pelo aumento da temperatura do dossel na época seca, favorecido pela maior incidência da **Rg**, aumento assim as emissões de radiação onda longa pelo manguezal.

➤ Em outubro de 2005, com a grande atenuação da **Rg**, por volta de 75%, ao penetrar no interior do manguezal, o **Rn** contabilizado no interior apresentou um baixo percentual em relação ao **Rn** acima da copa, indicando uma redução média máxima de energia de aproximadamente 74%, evidenciando uma queda de aproximadamente 438W.m^{-2} . Essa queda

é provocada pelo processo de interceptação da radiação solar pelo dossel, resultando em uma baixa na radiação solar incidente no interior do manguezal.

➤ Na partição dos componentes do balanço de energia para o interior do manguezal, no mês de outubro de 2005, observou-se que o fluxo de calor latente (LE) correspondendo a 86% do $Rn_{int.}$, enquanto que o fluxo de calor sensível (H) foi equivalente a 8,4% do $Rn_{int.}$, já o fluxo de calor no solo (G) representa cerca de 5,89% do $Rn_{int.}$. Esse grande percentual utilizado pelo LE pode ser compreendido pelo inundamento periódico da superfície do manguezal decorrente das marés, propiciando uma maior disponibilidade de água com potencial evaporativo.

➤ Com o intuito de determinar o Saldo de Radiação (Rn^*) sobre o manguezal alagoano, geraram-se equações através da técnica de regressão linear entre o Rn disponível e a Rg , assim como o Rn e o Sn , possibilitando assim estimar o Rn^* , dentro de uma abordagem horária mensal. As equações indicam se mostrar eficientes para estimar o Rn^* , já que apresentaram bons valores do coeficiente de determinação (R^2), todos maiores que 0,8.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. G.; RANDOW, C.; PRIANTE-FILHO, N.; MANZI, A.O.; AGUIAR, L.J.G.; CARDOSO, F.L. Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical no sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, 248-257, 2006.

AKSORNKOAE, S.; C. ARROYO, F.; BLASCO, P. R.; BURBRIDGE, C. H.; TUCK, G.; CINTRÓN, J. D. S.; DAVIE, J. A.; DIXON, L. S.; HAMILTON, E.; HEALD, E.; HEGERL, P.; LAL, A. L.; LUGO, F.; PANNIER, B.; RAMDIAL, P.; SAENGER, Y.; SCHAEFFER-NOVELLI, J.; SCHWEITHELM, S. C.; SNEDAKER, P. D. L.; SRIVASTAVA, R.; WEIDENBACH, B.; YOKEL, R. G.; DIXON, O. J.; EONG AND S. M. SAIFULLAH. **Handbook for mangrove area management**. In HAMILTON, L. S.; C. SNEDAKER (eds), United Nations, Honolulu, Hawaii: Environment Program and East-West Center, Environment and Policy Institute, 1984. 256p.

ALONGI, D. M. Present state and future of the world's mangroves forests. **Environmental Conservation**. v.29, n.3, p.331-349, set. 2002.

ANDRADE, V. M. S.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C.; RODRIGUES, H. J. B.. Partição do saldo de radiação solar em um ecossistema de manguezal em Bragança-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, 2007, Aracaju – SE. **Anais...** 1 CD ROM.

ANDRÉ, R. G. B.; VISWANADHAM, Y. Utilização de parâmetros micrometeorológicos para caracterizar ambientes agrônômicos. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 33, p. 1563-9, 1981.

ANDRÉ, R. G. B.; VISWANADHAM, Y. Radiation Balance of Soybeans Grown in Brazil. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.30, p.157-173, 1983.

ANDRÉ, R. G. B.; SILVA FILHO, V.P.; MOLION, L.C.B.; NOBRE, C. A. Balanço de radiação sobre a Floresta Amazônica (Estações seca e úmida). **Revista Brasileira de Meteorologia**, n. 3, p. 269-274, 1988.

ANGELOCCI, L. R., VILLA NOVA, N. A., COELHO FILHO, M. A. Relações entre o saldo de radiação na copa da árvore e a irradiância solar global em pomar de lima ácida “Tahiti”. Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 12, 2001, Fortaleza – CE. **Anais...** v.2, p.817.

ANGUS, D.E.; WATTS, P.J. Evapotranspiration: how good is the Bowen ratio method?. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 8, p. 133-150. 1984.

ARAUJO, T. L.; PACE, F. T. Determinação da temperatura instantânea da superfície terrestre da cidade de Maceió-Al, com base em imagens TM - Landsat 5. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** 1 CD ROM.

ARYA, S. P. S. **Introduction to micrometeorology**. London, Academic Press, Inc. 1988, 307p.

ASSIS, S. V. **Material de agrometeorologia**. Disponível em: <<http://ufpel.tche.br/~assis/>>. Acesso em: 20 dezembro 2008.

BASTABLE, H. G.; SHUTTLEWORTH, W. J.; DALLAROSA, R. L. G.; FISCH, G.; NOBRE, C. A. Observations of climate, albedo and surface radiation over cleared and undisturbed Amazonian Forest. **International Journal of Climatology**, v.13, n.7, p.783-796, 1993.

BALDOCCHI, D. D.; KELLIHER, F. M.; BLACK, J. A.; JARVIS, P. Climate and vegetation controls on boreal zone energy exchange. **Global Change Biology**, v.6, p.69-83, 2000.

BOWEN, I. S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Physical Review**, v. 27, 1926, p. 779-787.

BORGES, C. J. R.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, V. P. R.; CAMPOS, J. H. B. C.; MOURA, M. S. B.; SOARES, J. M.; SILVA, B. B. Influência do calor armazenado no sistema solo-planta no balanço de energia em pomar de mangueiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.393–399, 2008.

BRAGA, A.P.; COSTA, A.C. L.; FERREIRA DA COSTA, R.; OLIVEIRA, P. J.; COSTA, J. M. N.; SILVA, R. B. C.; ANDRADE, V. M. S.; SILVA JUNIOR, J. A.; GONÇALVES, P. H. L.; MEIR, P.; MALHI, Y. Medidas Aerotérmicas em um ecossistema de manguezal na Amazônia - Bragança, Pará, Brasil, **Conferência Internacional Mangrove 2003**, Salvador, v. 1, p 326, 2003.

BRASIL. CONAMA. Resolução nº 303, de 20 de março de 2002. Estabelecimento de parâmetros, definições e limites diferentes às Áreas de Preservação Permanente. **Diário Oficial da União**, Brasília - DF, 13 maio 2002, nº 90, Seção 1. 2002.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Plano de ações e gestão integrada do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba – CELMM**: Resumo executivo. Brasília: ANA, 2006. 124 p.

CALADO, T. C. S; SOUSA, C. E. **Crustáceos do complexo estuarino – lagunar Mundaú/Manguaba Alagoas**. Maceió: FAPEAL, 2003. 116p.

CALHEIROS, A. J. P.; MOLION, L. C. B.; VAZ, J. C. M.; TENÓRIO, R. S. Um evento de precipitação extrema sobre a costa leste do Nordeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14, 2006, Florianópolis. **Anais...** 1 CD ROM.

CHAPMAN, V. J. **Ecosystems of the world: wet coastal ecosystems**. New York: Elsevier, 1977. 428 p.

CIRINO, G. G.; SOUZA, J. R. S.; SILVA, S. N. R. Balanço de radiação sobre área de floresta nativa da Amazônia. In: XV CBMET - Congresso Brasileiro de Meteorologia, 15, 2008, São Paulo - SP. **Anais...** 1 CD ROM.

CORREIA, F. W. S. **Estudo do Balanço de Radiação em área de policultivo na Amazônia**. 2000, 137p. Dissertação (Mestrando em Meteorologia) – INPE, São José dos Campos, 2000.

CORREIA, M. D.; SOVIERZOSKI, H. H. Caracterização dos impactos ambientais nos manguezais do Estado de Alagoas. In: MANGROVE 2000 - SUSTENTABILIDADE DE ESTUÁRIOS E MANGUEZAIS: DESAFIOS E PERSPECTIVAS. 2000 Recife - PE, **Anais...1** CD-ROM. 5p.

COSTA, A. C. L. Variações térmicas decorrentes da degradação de manguezais na região Bragantina, no Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2001, Fortaleza-CE, **Anais... 1** CD ROM.

COSTA, G. B.; CHAGAS, G. F. B.; RIBEIRO, J. B. M. Análise do comportamento da Temperatura do ar e temperatura foliar em uma região de manguezal na cidade de Bragança-PA. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14, 2006, Florianópolis-SC. **Anais... 1** CD ROM.

COSTA, G. B.; MENEZES, S. M. C; NUNES, H. G. G. C; CHAGAS, G. F. B.; RIBEIRO, J. B. M. Comportamento das temperaturas do ar, foliar e do solo em manguezal natural na Amazônia. **Ciência e Natura**, v. Especi, p. 79-82, 2007.

CULF, A. D.; FISCH, G.; HODNETT, M. G. The albedo of Amazonian forest and ranchland. **Journal of Climate**, v. 8, n. 6, p.1544-1554, 1995.

CUNHA, A. Aulas no manguezal Chico Science, Espaço Ciência, Olinda – PE. In: MANGROVE 2000; **Sustentabilidade de Estuários e Manguezais**: desafios e Perspectivas. Trabalhos completos...(CD-ROM). Recife: UFRPE. 2000.

DIEGUES, A. C. S. **Ecologia humana e planejamento em áreas costeiras**. São Paulo: NUPAUB – USP, 1996. 248p.

ECHER, M. P. S.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. A importância dos dados de cobertura de nuvens e de sua variabilidade: Metodologias para aquisição de dados. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 341-352, 2006.

ECK, T. F.; DEERING, D. W. Canopy albedo and transmittance in spruce-hemlock forest in mid-september. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.59, n.3-4, p.237-248, july, 1992.

FAO, FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED STATES. **The World's mangroves 1980-2005**. Rome: FAO Forestry Paper 153, 2007. 86p.

FIGUEREIDO, J. O. G. R. **Distribuição espacial da pluviometria em Alagoas com ênfase à variabilidade causada pelos padrões de temperatura da superfície do mar**. 2002, 148.p Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, 2002.

FIDELMAN, P. I. J. Manguezais do rio Santana, Ilhéus, Bahia: Caracterização do sistema. **Revista de estudos ambientais**, v.3, n.1, p.86-94, 2001.

GALVÃO, J. A. C. **Estudo do Balanço de Radiação em áreas de floresta e pastagem na Amazônia**. 1999. 125p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, São José dos Campos, 1999.

GAY, L.W. On the regression relation between net and solar radiation. In: **Conference on Agricultural Meteorology**, 9., 8-10 Sept. 1969, Seattle, Washington.

GASH, J. H. C.; NOBRE, A. C. An Overview of ABRACOS. In: GASH, J. H. C.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. **Amazonian deforestation and climate**. 1ª ed. Chicester- UK: John Wiley and Sons, 1996. p. 1-14.

GEIGER, R. **Manual de Micrometeorologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1980. 556 p.

GIELOW, R.; MICHILES, A. A. S. Estimativas das taxas de armazenamento de energia e dos fluxos turbulentos de calor em floresta de terra firme na Amazônia. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. **Anais...** 1 CD ROM.

GOES, M. H. B. **Ambientes Costeiros do Estado de Alagoas**. 1979. 339p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, 1979.

GRASSO, M; TOGNELLA, M. M. P. Valor ecológico e sócio-econômico. In: SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar**. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1995. p. 43-47.

GRIMM, A. M. Meteorologia básica: notas de aula. Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-1.html>>. Acesso: 12.11.2008.

HARDY, J. P.; MELLOH, R.; KOENING, G; MARKS, D; WINSTRAL, D; POMEROY, J.W.; LINK, T. Solar radiation transmission through conifer canopies. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.126, p.257-270, 2004.

HARTMANN, D. L. Global physical climatology. **International geophysics series**, Praticce Hall, New York, v.56, n.4, p.40-79, 1994.

HEILMAN, J.L.; BRITTIN, C.L. Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.4, n.1, p.261-273.1989.

HERNANDES, J. L.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; BARDIN, L. Variação estacional da radiação solar em ambiente externo e no interior de floresta semidecídua. **Árvore**, v.28, n.2, p. 167 – 172, 2004.

HERZ, R. **Distribuição dos padrões espectrais associados à estrutura física dos manguezais de um ecossistema costeiro subtropical**. 1988. 378p. Tese (livre docência). Instituto oceanográfico, Universidade de São Paulo-USP. São Paulo, 1988.

HOLGUIN, G., VAZQUEZ, P., BASHAN, Y. The role of sediment microorganisms in the productivity, conservation, and rehabilitation of the mangrove ecosystems: an overview. **Biology and Fertility of Soils**, v. 33, p. 265-278, 2001.

IBGE. **Censo Demográfico 1970, 1980, 1991 e 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

IBGE. **Mapa Geográfico do Estado de Alagoas**. Diretoria de Geociências. Rio de Janeiro: IBGE, 2003.

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

IMA - INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE /GOVERNO DE ALAGOAS. **Zoneamento ambiental da APA de Santa Rita e Reserva Ecológica do Saco da Pedra**, v. 1. Convênio IMA-GTZ, Maceió, AL, 1993.

IRIBARNE, J. V.; CHO, H. R. **Atmospheric physics**. Boston: Reidel, 1980. 212 p.

JANUÁRIO, M.; VISWANADHAM, Y.; SENNA, R. C. Radiação solar total dentro e fora da floresta tropical úmida de terra firme (Tucuruí, Pará). **Acta Amazônica**, v. 22, p. 335-340, 1992.

JARVIS, B. G., MASSHERDER, J.M., HALE, S. E., MONCRIEFF, J. B., RAYMENT, M., SCOTT, S. L. Seasonal variation of carbon dioxide, water vapor, and energy exchanges of a boreal black spruce forest. **Journal of Geophysical Research**, v.102, p. 28953-28966, 1997.

KLEIN, S. A. Calculation of Monthly Average Insolation on tilted surfaces. **Solar Energy**, v.9, p.325-329, 1977.

KOLLING, E. M. **Análise operacional de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água**. 2001. 64p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Cascavel, 2001.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Paulo: EDUSP, 1986. 286p.

LEITÃO, M. M. V. B. R. **Balço de Radiação em três ecossistemas da floresta Amazônica: Campina, Campinarana e Mata densa**. 1994. 135p. Tese (Doutorado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, São José dos Campos, 1994.

LI, S.; KURATA, K.; TADADURA, T. Direct solar radiation penetration into row crop canopies in a lean-to greenhouse. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 100, p. 243–253, 2000.

LIRA, A.; SÁ, H.P.; AMADOR, J.; CAVALCANTI, R. **Manguezais, importância de sua preservação**. Secretaria de Educação Cultura e Esportes, Recife, 1992. 87p.

LYONS, T. J.; SMITH, R. C. G.; XINMEI, H. The impact of clearing for agriculture on the surface energy budget. **International Journal of Climatology**, v. 16, p. 551-58, 1996.

MARIN, F. R.; SANTIAGO, A. V.; RIGHI, E. Z.; SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, S. R. M.; PEZZOPANE, J. R. M. Interceptação da radiação e transpiração na copa de cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002 Foz do Iguaçu - PR. **Anais...** 1 CD ROM.

MARQUES, R. C.; LEMOS, R. P. L.; RODRIGUES, M. N. Processo de ocupação e uso do solo da paisagem caeté aos dias atuais. In: NORMANDE, E. (Org.). **Apoio à proteção**

ambiental em Alagoas: uma experiência de cooperação técnica. Maceió: SEPLAN/IMA/GTZ, 2000, p.200-214.

MARTINS, L. T. G. **Características energéticas em cultivo de milho (*Zea mays L.*) em solo de tabuleiro costeiro de Alagoas.** 2002. 84p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas-UFAL.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; GUARNIERI, R. A.; SILVA, S. A. B.; YAMASHITA, C. S.; CHAGAS, R. C.; ABREU, S. L.; COLLE, S. Mapeamento dos Recursos de Energia Solar do Brasil Utilizando Modelo de Transferência Radiativa Brasil-SR. In: CBENS - I Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2007, Fortaleza. **Anais do CBENS.**

MENEZES, H. E. A.; DANTAS, R. T. Ajuste de funções para estimativa da irradiação solar difusa em Cajazeiras – PB. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002, Foz do Iguaçu - PR. **Anais...** 1 CD ROM.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206 p.

MEYERS, T. P. A comparison of summertime water and CO₂ fluxes over rangeland for well watered and drought conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.106, p.205–214, 2001.

MIRANDA, L. B; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002. 424 p.

MILLER, D. H. Energy at the surface of the earth: Introduction to the energetics of ecosystems. **International Geophysics Series**, New York, v. 27, 516p., Academic Press, 1981.

MONTEITH, J.L., SZEICZ, G. The radiation balance of bare soil and vegetation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. v.7, p. 159 – 170, 1961.

MORAES, B. C.; COSTA, A. C. L. Variações sazonais de parâmetros meteorológicos em ecossistemas de manguezais no município de Bragança – PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro – RJ. **Anais...** 1 CD ROM.

MOURA, M. A. L. **Balço de Radiação à superfície e fluxo de calor no solo em áreas de floresta nativa e pastagem no Oeste da Amazônia brasileira.** 2000. 118p. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu, 2000.

MOURA, M. A. L.; QUERINO, C. A. S.; LYRA, R. F. da F.; NASCIMENTO FILHO, M. F. Alguns aspectos da interação da maré e precipitação na variação sazonal da temperatura do solo em um manguezal tropical. In: Congresso Brasileiro de meteorologia, 14, 2006, Florianópolis. **Anais...**1 CD ROM.

MOURA, R. G., TOTA, J., MANZI, A. O., GU, L. Medidas e modelagem da radiação solar interceptada pela vegetação durante a estação chuvosa na floresta da Rebio – Jaru-RO. In: I conferência científica do projeto LBA, 2000, Belém-PA, **Anais...**

MOURA, R. G. **Estudo das radiações solar e terrestre acima e dentro de uma Floresta Tropical úmida**. 2001. 114p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE, São José dos Campos, 2001.

MOTA, F. S. **Meteorologia agrícola**. São Paulo: Nobel, 1983. 376 p.

NOGUEIRA, C. C. B. R.; QUEIROZ, M. R.; ASSIS, S. V. de. Avaliação de um método empírico para estimativa da radiação solar global – Modelo de Allen. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro - RJ. **Anais...** 1 CD ROM.

NICÁCIO, R. M. **Radiação solar global e difusa para a região de Maceió – AL: Medidas de modelos**. 2002. 107p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, 2002.

NICÁCIO, R. M.; SOUZA, J. L.; BERNADO, S. de O.; SILVA, P. R. T. Variabilidade da irradiância solar global e difusa em Maceió-AL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002, Foz do Iguaçu - PR. **Anais...** 1 CD ROM.

NIE, D.; FLITCROFT, I.D.; KANEMASU, E.T. Performance of Bowen ratio system on a slope. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.59, n.1, p.165-181. 1992.

ODUM, H. T.; LUGO, A.; CINTRONN, G. et al. Metabolism and evapotranspiration of some rainforest plants and soils. In: **A Tropical Rainforest**. Washington, D.C: U.S. Atomic Energy Commission, 1970. p. 1103-1164.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. London. Methuen & Co Ltd., 1978. 372p.

OKE, T.R. **Boundary Layer Climates**. 2° ed. London: Routledge, 1987. 434 p.

OLIVEIRA, J. A. **Percepção ambiental sobre o manguezal por alunos e professores de uma unidade escolar pública no bairro de Bebedouro, Maceió – Alagoas**. 2004. 36p. Monografia (Especialização em Biologia de Ecossistemas Costeiros) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2004.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981, 413p.

PANITZ, C. M. N. Manguezais um paradoxo: do conhecimento e legislação à destruição. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 4, 1998, Águas de Lindóia – SP. **Anais...** São Paulo: Academia Ciências do Estado de São Paulo, 1998. v.1, p.1-5.

PAGANO, M. L.; GAUVREAU, K. **Princípios de Bioestatística**. São Paulo: Ed. Pioneira Thomson, 2004.

PENNDORF, R. Luminous reflectance (visual albedo) of natural objects. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v.37, 142-144p, 1956.

PERREIRA, A. R.; VILA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba-SP: FESALQ, 1997. 183p.

POR, F. D. **Ecosystemas: Manguezal**. Disponível em:
<<http://www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/port/meioamb/ecossist/mangue/index.htm>>.
Acesso em: 1 Nov. 2007.

QUERINO, C. A. S. **Avaliação da Radiação Solar em ecossistema de manguezal tropical em Alagoas, Brasil**. Maceió, 2006, 97p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Alagoas – UFAL.

RIBEIRO, J. B. M.; COSTA, A. C. L.; SOUZA FILHO, J. D. C. **Uma abordagem meteorológica preliminar sobre impacto ambiental** – Projeto MADAM, Belém-PA. 1997.

RIBEIRO, J. B. M., OLIVEIRA, M. do C.F, COSTA, A. C. L., FILHO, J. D. S., COSTA, M. C., SANTOS, L. A. R. Regime térmico em três áreas distintas de manguezal em Bragança – PA. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro – RJ. **ANAIS ...** Rio de Janeiro: UERJ, 2000.

RIBEIRO, J. B. M. **Micrometeorologia do manguezal e o impacto do desmatamento em Bragança-PA**. 2001. 130p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 2001.

RIBEIRO, J. B. M.; SANTOS, C. V.; CHAVES, J. G.; MATTOS, A.; RODRIGUES, H. J. Características do vento acima da copa das árvores no manguezal de Bragança – PA. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002. Foz do Iguaçu – PR. **ANAIS...** 1 CD-ROM.

RIZZINI, C. T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil: Aspectos Sociológicos e Florísticos**, v. 2, São Paulo: EDUSP, 1979. 374p.

ROCHA, E. A.; PEREIRA, M. G.; PEPE, A. Educação ambiental em áreas de manguezais de Canavieiras, Bahia, Brasil: Olhares e saberes do cotidiano. In: 2º EREBIO- Encontro Regional de Ensino de Biologia, 2, 2006, João Pessoa. **Anais...** 156-158 p.

RODRIGUES, H. J. B. **Balço de radiação, energia e CO₂ em manguezal na Amazônia**. 2006. 207p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa - UFV. Viçosa, 2006.

SALLES, V. (org.) **Guia do Meio Ambiente: Litoral de Alagoas**. 3ª ed., Maceió: IMA/GTZ/FAPEAL, 1995. 184p.

SANTO, A. R. S. E.; SA, L. D. A.; MORAES, B. C. Relação mensal entre o saldo de radiação e o saldo de radiação de ondas curtas acima do dossel na Floresta Nacional de Caxiuanã-Pará. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. **Anais...** 1 CD-ROM.

SANTOS, A. M., KASSAR, E. Monitoramento preliminar da irradiância solar global em Campo Grande-MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002, Foz do Iguaçu - PR. **Anais...** 1 CD ROM.

SANTOS, T. S. **Distribuição da precipitação e suas interações com os sistemas de brisas em um ecossistema de manguezal em Alagoas**. 2008, 48p. TCC (Graduação em Meteorologia), Instituto de Ciências Atmosféricas – UFAL.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar**. São Paulo: Instituto Oceanográfico, São Paulo, 1995. 64p.

SCHMIDT, G. **Manguezal de Cananéia: concentração dos elementos químicos carbono, nitrogênio, cálcio, fósforo, manganês, ferro e cinzas, em folhas de mangue e sua correlação com taxa de decomposição e salinidade**. 1988. 241p. Tese (Doutorado em Oceanografia). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 1988.

SCHMIEGELOW, J. M. M. **O planeta azul: uma introdução às ciências marinhas**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 202p.

SCHUMACHER, M. V. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de Eucalytus camaldulensis Dehnh, E. grandis Hill ex Maiden e E. torelliana F. Muell**. Piracicaba, 1992. 87p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo - USP.

SERHI – Secretaria de Estado de Recursos Hídricos e Irrigação – **Núcleo de Meteorologia e Recursos Hídricos de Alagoas – NMRG – AL**, Posto: Maceió (01), 2003.

SHUTTLEWORTH, W. J.; GASH, J. H.; LLOYD, C. R.; ROBERTS, J.; MARQUES, A. O.; FISH, G.; SILVA, V.P.; RIBEIRO, M. N. G.; MOLION, L. C.; SÁ L. D. A.; NOBRE, C. A.; CABRAL, O. M. R.; PATEL, S. R.; MORAES, J. C. Observations of radiation exchange above and below Amazonian forest. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, n. 110, v. 466, p 1163-1169, Oct. 1984.

SILVA, J. F. **Ensaio sobre o balanço de radiação no ambiente costeiro: Sistema Estuarino-Lagunar Cananéia-Iguape**. 1991. 139p. Tese (Doutorado)– Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

SILVA, J. F.; HERZ, R. Estudos de microclimas em ambientes de Manguezais na região do complexo estuarino-lagunar de Cananéia. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA. 1987. Cananéia-SP. **Anais...** São Paulo: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1987. v.2, p.127-131.

SILVA, P. R. T. **Radiação Solar Global Mensal para o Estado de Alagoas - Mapeamento**. 2007. 93p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas-UFAL.

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

SILVA JÚNIOR, J. A.; COSTA, R. F.; BRAGA, A. P.; COSTA, A. C. L.; GONÇALVES, P. H. L.; MALHI, Y; ARAGÃO, L. E. O. C.; MEIR, P. Sazonalidade de elementos meteorológicos em ecossistema de manguezal na região equatorial, Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 248-257, 2006.

SILVA NETO, J. L. **Balanço de Radiação como subsídio ao cultivo do milho os tabuleiros costeiros de Alagoas**. 2006. 53p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas-UFAL.

SNEDAKER, S. C. Mangrove species zonation: why? In: SEN, D.N.; RAJPUROHIT, K.S. **Tasks for vegetation science**. v. 2. The Hague: Dr. W. Junk Publishers, 1982. p. 25-111.

SOUZA, M. J. H. de.; RAMOS, M. M.; COSTA, L. C.; LHAMAS, A. J. M.; SIQUIRA, D. L. de. Déficit hídrico e radiação interceptada e refletida pela Limeira Ácida Thahiti. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002, Foz do Iguaçu - PR. **Anais...** 1 CD ROM.

SOUZA, W. J. S.; COSTA, A. C. L. Variação Sazonal do Saldo de Radiação Para Três Diferentes ecossistemas Amazônicos. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002, Foz do Iguaçu - PR. **Anais...** 1 CD ROM.

SPALDING, M. D., BLASCO, F.; FIELD, C. D. **World Mangrove Atlas**. Okinawa, Japão: The International Society for Mangrove Ecosystems, 1997. 178 p.

STANHILL, G., HOFSTEDE, G. J., KALMA, J.D. Radiation balance of natural and agricultural vegetation. **Quartely Journal Research Meteorological Society**, v.92, p.128 – 40, 1966.

TAVARES, P. S. **Observação e análise da radiação solar global e fotossinteticamente ativa na região de Maceió**. Maceió, 2005, 42p. TCC (Graduação em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, 2005.

THOM, A. S. Momentum, mass and heat exchange of plant communities. In: Monteith, J.L. (Ed.). **Vegetation and the Atmosphere: Principles**. 3. ed. London: Academic Press, 1975. p. 57-110.

TOLEDO FILHO, M.R. **Estudo Micrometeorológico de um Cultivo de Cana-de-Açúcar (Saccharum Spp.) em Alagoas**. Porto Alegre, 2001, 149p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). UFRGS, Porto Alegre, 2001.

TOMLISON, P. B. Relation between mangrove vegetation soil texture and the reaction of surface soil after enpoldering saline swampts in Serra Leone. **Tropical Agricultural Trinidad**, v.34, p.41-50, 1986.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS. **Impactos ambientais no manguezal do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba**. Maceió: UFAL, 2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Instituto de Ciências do Mar. **Estudo das áreas de manguezais do Nordeste do Brasil: Avaliação das áreas de manguezais dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, e Pernambuco**. Fortaleza, 2005. 62p.

VANNUCCI, M. **Os manguezais e nós: Uma síntese de percepções**. 2ª ed. São Paulo: EDUSP, 2002. 233p.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. 2º. ed. Brasília: INMET, 2000. v.1. 515 p.

VERSTRAETE, M. M. Radiation transfer in plant canopies transmission of direct solar radiation and the role of leaf orientation. **Journal of Geophysical Research**, v. 92, p. 10985-95, 1987.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 449 p.

VILANI, M. T. *et al.* Sazonalidade da radiação, temperatura e umidade em uma floresta de transição Amazônia Cerrado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.21, n.3b, 119-131, 2006

VON RANDOW, R. C. S.; ALVALÁ, R. C. S. Estimativa da Radiação de Onda Longa Atmosférica no Pantanal Sul Mato-Grossense Durante os Períodos Secos de 1999 e 2000. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 21, n. 3b, p. 398-412, 2006.

YOKOYA, S. N. Distribuição e origem. In: SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezal: Ecossistema entre a Terra e o Mar**. São Paulo: Caribbean Ecological Research, 1995. p.9-15.

WALSH, G. E. An ecological study of a Hawaiian mangroves swamp. In: LAUFF, G. H. **Estuaries**. Washington, D: American Association for the Advancement of Science, 83, 1967, p.420-431.

WELIGEPOLAGE, K. Estimation of spatial and temporal distribution of evapotranspiration bay satellite remote sensing – A case study in Hupselse Beek. **The Netherlands**, p.114, 2005.

ZHANG, H.; HENDERSONSELLERS, A.; MCGUFFIE, K. Impact of a tropical deforestation. Part I: Process analysis of local climatic changes. **Journal of climatology**, v.9, p.1497-1517, 1996.

ZEEC/ AL – Zoneamento Ecológico-Econômico da Zona Costeira do Estado de Alagoas. Disponível em: <http://www.ufal.br/zeecal/resultado/norte/alteracoes/altera_manguezal.htm>. Acesso em: 1/11/2007.

7 – ANEXOS

7.1 - Anexo A - Regressão linear entre o R_n e o S_n

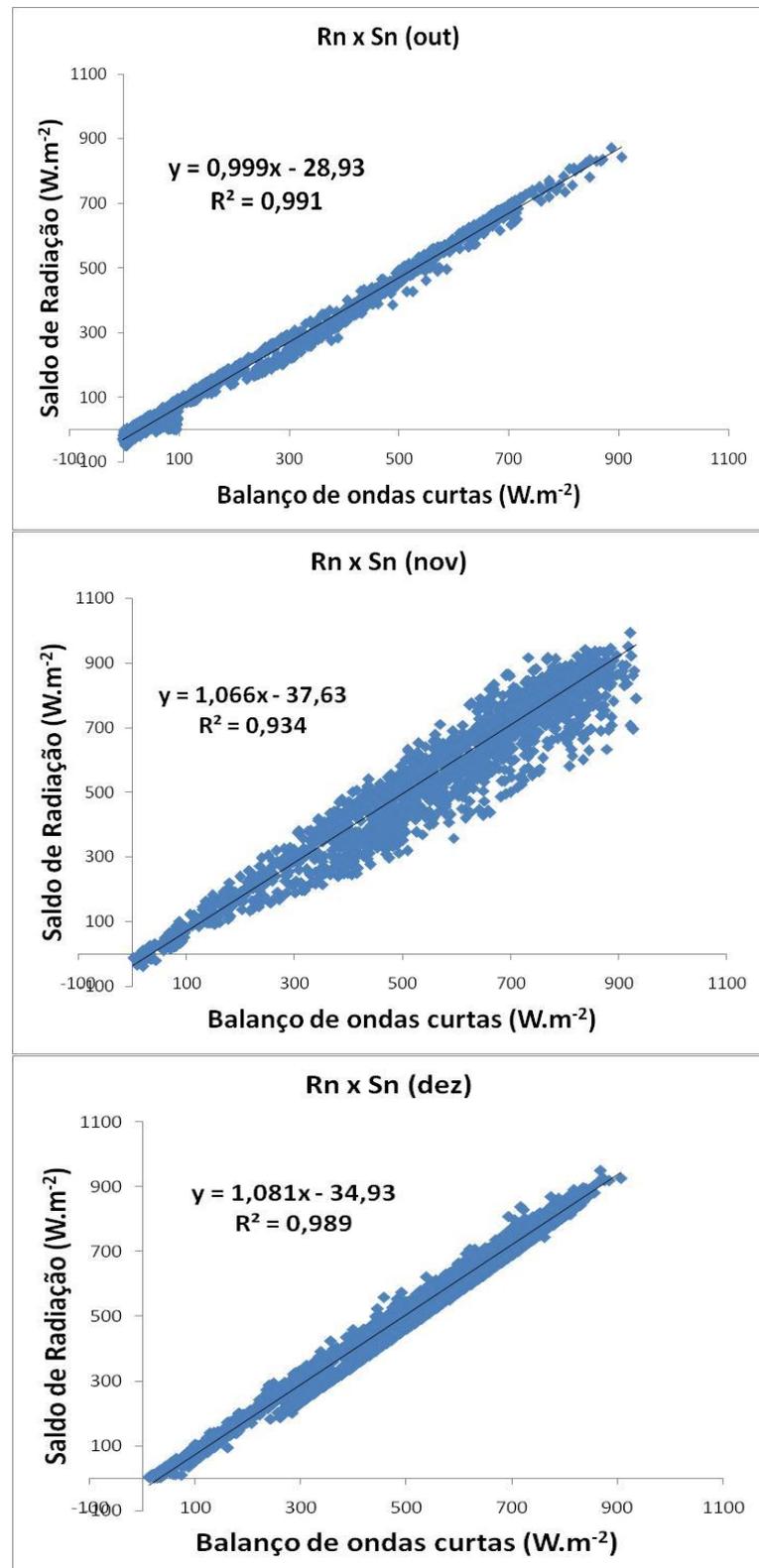


Figura 1A - Regressão linear entre o R_n e o S_n para os meses de outubro a dezembro de 2004.

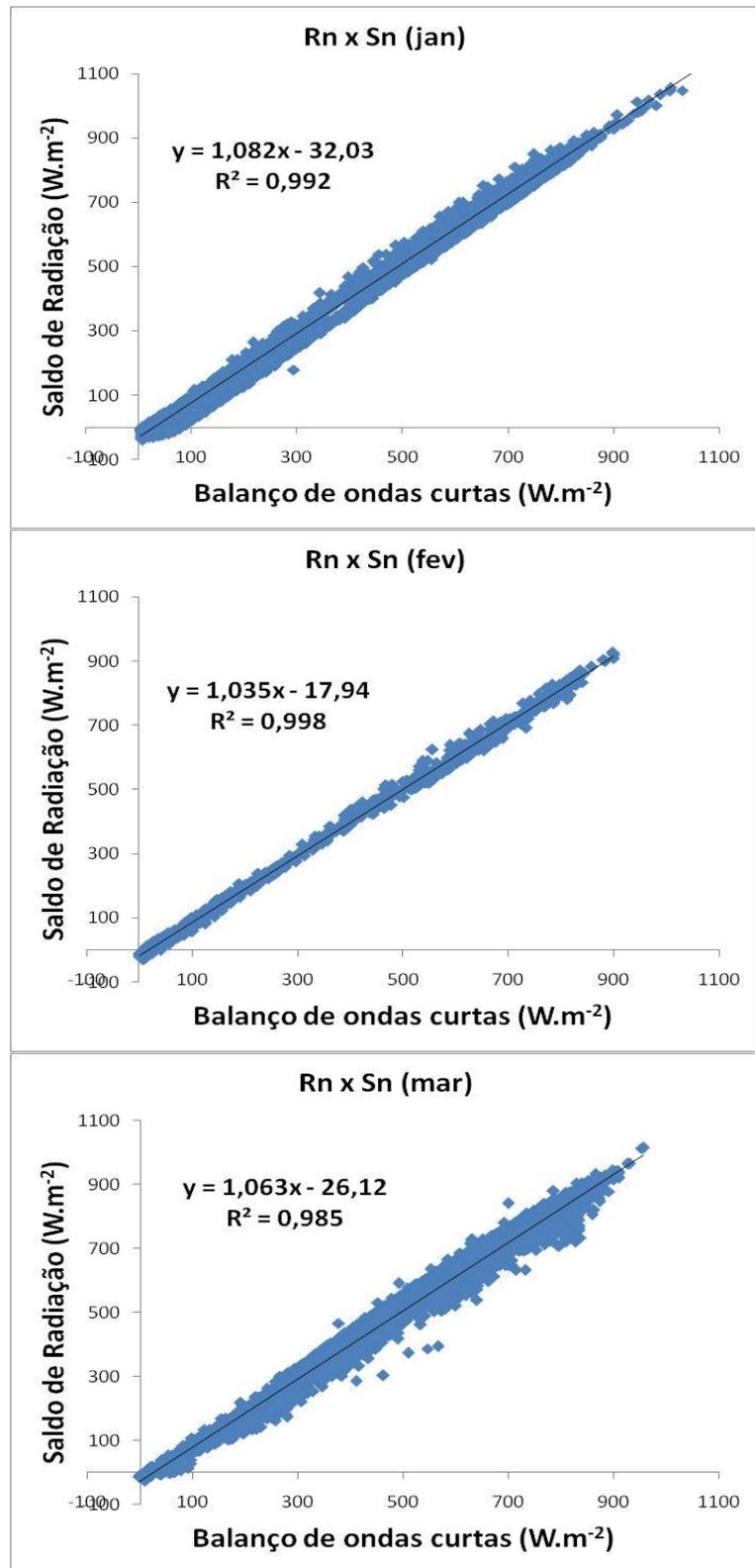


Figura 2A - Regressão linear entre o R_n e o S_n para os meses de janeiro a março de 2005.

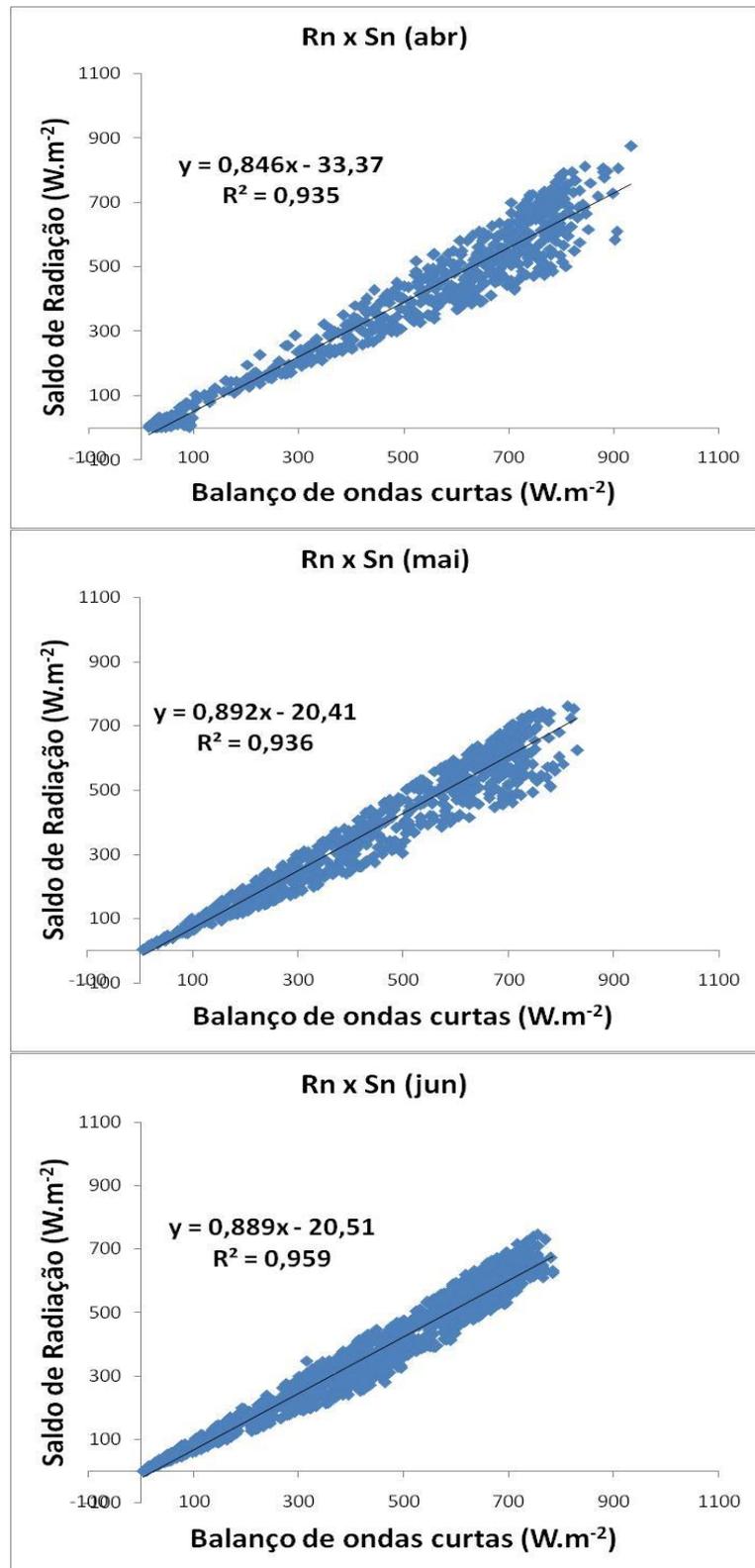


Figura 3A - Regressão linear entre o R_n e o S_n para os meses de abril a junho de 2005.

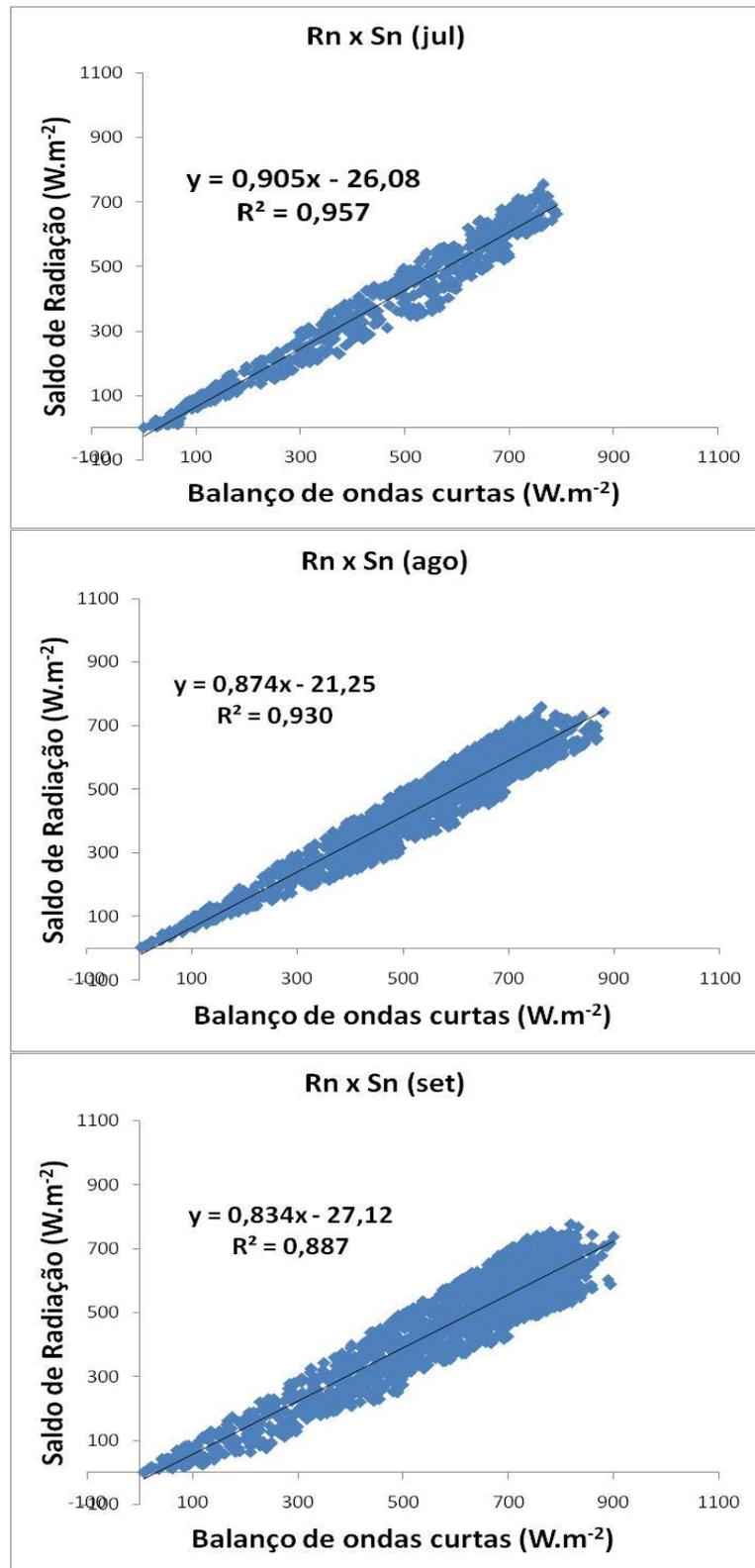


Figura 4A - Regressão linear entre o Rn e o Sn para os meses de julho a setembro de 2005.

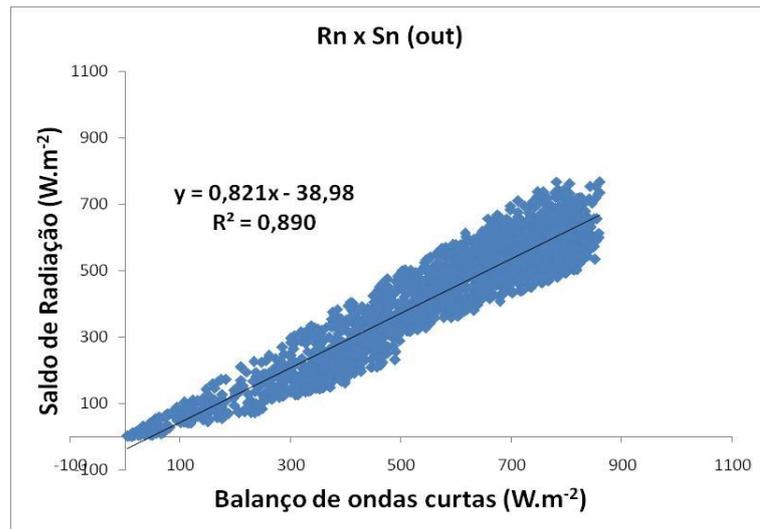


Figura 5A - Regressão linear entre o Rn e o Sn para outubro de 2005.

7.2 - Anexo B – Layout da Torre micrometeorológica.

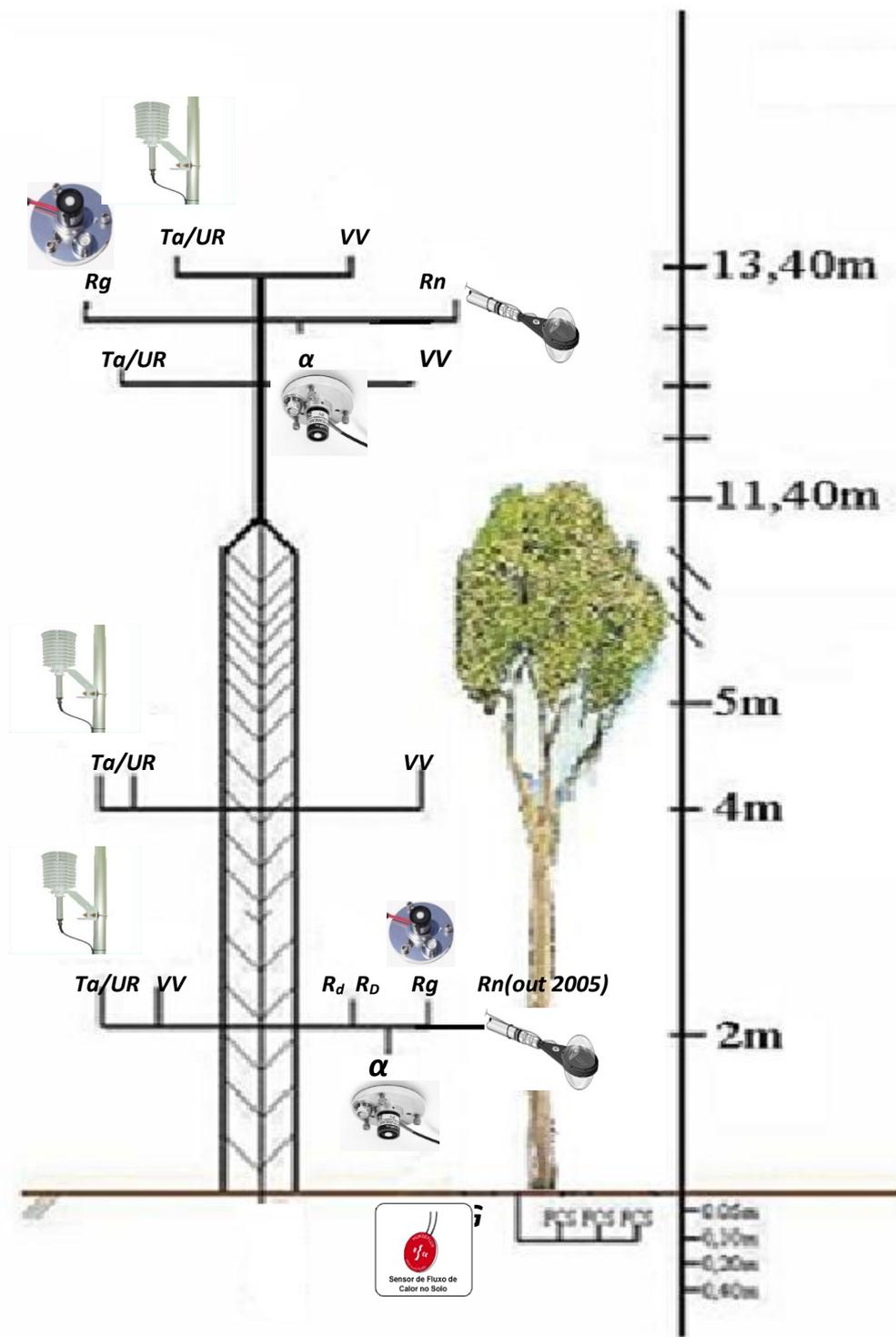


Figura 1B – Layout da altura dos instrumentos na torre da área de manguezal.