Serviço de Pós-Gradução EESC/USP
EXEMPLAR REVISADO
Data de entrada no Serviço: 13 / 02 / 02
Ass.: Guilherme

MICROMETEOROLOGIA DO MANGUEZAL E O IMPACTO DO DESMATAMENTO EM BRAGANÇA-PA

João Batista Miranda Ribeiro

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental.

DEDALUS - Acervo - EESC
31100036874
EESC-USP Biblioteca Campus de S. Carlos

ORIENTADOR: Prof. Dr. Arthur Mattos

São Carlos
2001

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Bacharel **JOÃO BATISTA MIRANDA RIBEIRO**

Tese defendida e julgada em 10-12-2001 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Assoc. **ARTHUR MATTOS (Orientador)** — APROVADO
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Prof. Tit. **FAZAL HUSSAIN CHAUDHRY** — APROVADO
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Prof. Dr. **FRANCISCO ARTHUR DA SILVA VECCHIA** — APROVADO
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Prof. Dr. **JOSÉ GOMES CHAVES** — Aprovado
(Universidade Federal do Pará/UFPA)

Prof. Dr. **ROMÍSIO GERALDO BOUHID ANDRÉ** — Aprovado
(Pesquisador - Universidade Estadual do Norte Fluminense)

Prof. Doutor **EVALDO LUIZ GAETA ESPÍNDOLA**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Ciências da Engenharia Ambiental

JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

A Deus,
Ao meu pai e minha mãe,
Aos meus irmãos e irmãs,
À minha esposa e enteados.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Arthur Mattos, pela dedicada orientação neste trabalho e, acima de tudo, pelo grande exemplo de caráter e amizade.

Ao programa Manejo e Dinâmica de Áreas de Manguezais (MADAM) em especial ao Dr. Rubén Jose Lara, pelos esforços na implantação e aquisição dos dados.

À Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Centro de Geociências e ao Departamento de Meteorologia pela confiança na liberação para o doutoramento.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Prof. Dr. Antonio Carlos Lôla da Costa, pela amizade e por todos os esforços empreendidos na instalação dos instrumentos e coordenação das campanhas experimentais.

A todos os colegas do MADAM, em especial à equipe de Meteorologia (UFPA), cuja dedicação foi imprescindível para esta conquista.

A todos que de alguma forma contribuíram para o êxito deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS vi
LISTA DE TABELAS ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS x
LISTA DE SÍMBOLOS xi
RESUMO xiv
ABSTRACT xv
1 INTRODUÇÃO 1
2 CARACTERÍSTICAS DO MANGUEZAL 7
2.1 Distribuição e origem 7
2.2 Partição de energia no manguezal 9
2.3 Regime pluviométrico 14
2.4 Balanço térmico 16
2.5 Estrutura do vento 22
2.6 Evaporação e umidade do ar no manguezal 24
3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS 27
3.1 Balanço de energia no manguezal 27
3.2 Balanço de radiação 28
3.3 Fluxo de calor sensível 32
3.4 Fluxo de calor latente 33
3.5 Fluxo de calor no solo 35
3.6 Déficit de umidade específica 36
4 ESTRUTURA EXPERIMENTAL E DADOS 38
4.1 Área de manguezal 39
4.2 Área desmatada 46
4.3. Climatologia da região 49

4.3.1 Climatologia dinâmica 49
4.3.2 Série climatológica 51
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 57
5.1 Radiação solar global 57
5.2 Radiação fotossinteticamente ativa 57
5.3 Simulação do balanço de energia 60
5.4 Regime de precipitação 64
5.5 Temperatura do ar na copa das árvores 66
5.6 Temperatura e fluxo de calor no solo 68
5.7 Perfis verticais da temperatura do ar 71
5.8 Perfis verticais do déficit de umidade específica 73
5.9 Direção e velocidade do vento 82
5.10 Evaporação 85
5.11 Alterações decorrentes do desmatamento no manguezal 88
5.11.1 Temperatura do solo 88
5.11.2 Fluxo de calor no solo 90
5.11.3 Temperatura do ar 92
5.11.4 Déficit de umidade específica 94
6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES 98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 104
OBRAS CONSULTADAS 111
GLOSSÁRIO 117

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Distribuição mundial dos manguezais, considerando-se para as árvores de mangue com mais de 20 espécies as linhas (—), entre 5 e 20 espécies as linhas (---) e menos que 5 espécies as linhas (∘∘∘). Fonte: CHAPMAN (1977) 8

FIGURA 2 - Localização geográfica dos sítios experimentais no manguezal ↓ e área desmatada , no município de Bragança-PA. Convenção: 3 km: —..... 39

FIGURA 3 - Vista parcial da área experimental do manguezal de Bragança-PA..... 41

FIGURA 4 - Esquema da estação meteorológica automática instalada no topo da torre micrometeorológica no manguezal..... 45

FIGURA 5 - Torre micrometeorológica fixada no manguezal..... 46

FIGURA 6 - Vista parcial do sítio experimental na área desmatada no manguezal de Bragança-PA..... 46

FIGURA 7 - Descrição climatológica da temperatura do ar máxima (Tmáx), média (Tméd) e mínima (Tmín), para a região de Bragança-PA, no período de 1973 a 1990 52

FIGURA 8 - Descrição climatológica da precipitação (Prp), evaporação do tanque classe A (Eca) e umidade relativa (UR), para a região de Bragança-PA, no período de 1973 a 1990 53

FIGURA 9 - Descrição climatológica da insolação (Ins) e nebulosidade (Neb), para a região de Bragança-PA, no período de 1973 a 1990 54

FIGURA 10 - Variação sazonal da radiação solar global medida acima da copa das árvores no manguezal,durante o ano de1997..... 58

FIGURA 11 - Variação horária da radiação solar global e radiação fotossinteticamente ativa em 21/03/97 59

FIGURA 12 - Perfis horários da radiação fotossinteticamente ativa, nos níveis de altura de 5, 15 e 25 m a partir da superfície do solo, em 21/03/97..... 60

FIGURA 13 - Variação média horária da radiação solar global (R_g) e dos componentes do balanço de energia: saldo de radiação (R_n), fluxo de calor latente (LE) e fluxo de calor sensível (H), para os dias 17, 18 e 19/06/97 63

FIGURA 14 - Esquema dos componentes do balanço de energia no manguezal..... 64

FIGURA 15 - Série climatológica de precipitação da estação de Tracuateua (climatologia) e da estação meteorológica automática do manguezal (EMA) 66

FIGURA 16 - Valores mensais das temperaturas do ar máxima, média e mínima, registradas na estação meteorológica automática 67

FIGURA 17 - Temperatura do solo a 2, 5, 10 e 20 cm de profundidade no dia 14/06/97 69

FIGURA 18 - Temperatura do solo a 2, 5, 10 e 20 cm de profundidade no dia 18/06/97 69

FIGURA 19 - Fluxo de calor no solo do manguezal nos dias 14/05/97 e 18/06/97 71

FIGURA 20 - Perfis verticais da temperatura do ar para o dia 14/05/97 nos intervalos de (a) 2:00 às 12:00 h e (b) 14:00 às 24:00 h 74

FIGURA 21 - Perfis verticais da temperatura do ar para o dia 15/05/97 nos intervalos de (a) 2:00 às 12:00 h e (b) 14:00 às 24:00 h 75

FIGURA 22 - Perfis verticais da temperatura do ar para o dia 16/05/97 nos intervalos de (a) 2:00 às 12:00 h e (b) 14:00 às 24:00 h 76

FIGURA 23 - Perfis do déficit de umidade específica para o dia 14/05/97 nos intervalos de (a) 2:00 às 12:00 h e (b) 14:00 às 24:00 h 79

FIGURA 24 - Perfis do déficit de umidade específica para o dia 15/05/97 nos intervalos de (a) 2:00 às 12:00 h e (b) 14:00 às 24:00 h 80

FIGURA 25 - Perfis do déficit de umidade específica para o dia 16/05/97 nos intervalos de (a) 2:00 às 12:00 h e (b) 14:00 às 24:00 h 81

FIGURA 26 - Freqüência da direção do vento no mês de outubro de 1997 (n =1.488) 82

FIGURA 27 - Freqüência da direção do vento no mês de novembro de 1997 (n=1.437) 83

FIGURA 28 - Velocidade média do vento nas alturas de 22 m (copa das árvores) e 27 m no período de 13 a 17/05/97 84

FIGURA 29 - Velocidade média do vento nas alturas de 22 m (copa das árvores) e 27 m no período de 17 a 20/06/97 85

FIGURA 30 - Distribuição média da evaporação no tanque classe A durante nove semanas entre abril e maio de 1997 87

FIGURA 31 - Variação média horária dos perfis das temperaturas do solo no manguezal, no período de 17 a 20/06/97 89

FIGURA 32 - Variação média horária dos perfis das temperaturas do solo na área desmatada, no período de 17 a 20/06/97 90

FIGURA 33 - Variação média horária do fluxo de calor no solo no manguezal e na área desmatada, no período de 17 a 20/06/97 91

FIGURA 34 - Variação média horária da temperatura do ar nos períodos de: (a) 13 a 17/05/97, (b) 17 a 20/06/97, (c) 25 a 27/10/97 93

FIGURA 35 - Variação média horária do déficit de umidade específica nos períodos de: (a) 13 a 17/05/97, (b) 17 a 20/06/97, (c) 25 a 27/10/97..... 95

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Médias mensais de temperatura do ar (Tar), precipitação pluvial (Prp), evapotranspiração potencial (Etp) e resultados do balanço hídrico (Bal. hídrico) 56

TABELA 2 - Valores máximos, médios, mínimos, amplitudes, diurnos (7 às 18:00 h) e noturnos (19 às 6:00 h) da temperatura do ar (°C) no manguezal e área desmatada (A.desmat.), durante as campanhas de 13 a 17/05/97, 17 a 20/06/97 e 25 a 27/10/97 97

TABELA 3 - Valores máximos, médios, mínimos, amplitudes, diurnos (7 às 18:00 h) e noturnos (19 às 6:00 h) do déficit de umidade específica (g kg^{-1}) no manguezal e área desmatada (A.desmat.), durante as campanhas de 13 a 17/05/97, 17 a 20/06/97 e 25 a 27/10/97 97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BMBF	- Ministério de Ciência e Tecnologia da Alemanha
EMA	- Estação Meteorológica Automática
EMMA	- Estudo Micrometeorológico em Manguezais
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
IUCN	- International Union for the Conservation of Nature Resources
LI	- Linhas de Instabilidade
MADAM	- Manejo e Dinâmica de Áreas de Manguezais
MPEG	- Museu Paraense Emílio Goeldi
UFPA	- Universidade Federal do Pará
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical
ZMT	- Zentrum für Marine Tropenökologie

LISTA DE SÍMBOLOS

A - energia proveniente da advecção, $W.m^{-2}$

a - constante *(eq.15)*, $s^{1/2}\ m^{-1}$

c_p - calor específico do ar a pressão constante, $J\ kg^{-1}\ K^{-1}$

D - largura característica das folhas, m

E - taxa de evaporação, $W.m^{-2}$

e - pressão que o vapor d'água exerce na atmosfera, hPa

e_s - pressão de saturação do vapor d'água, hPa

$e_s(T_f)$ - pressão de saturação do vapor à temperatura T_f, hPa

F - energia usada para fotossíntese e demais processos metabólicos, $W.m^{-2}$

F_{R_g} - função que representa a influência da radiação solar na resistência estomática

G - fluxo de calor no solo, $W\ m^{-2}$

H - fluxo de calor sensível, $W.m^{-2}$

He - gás hélio

IAF - índice de área foliar

L - calor latente de evaporação, $W.m^{-2}$

LE - fluxo de calor latente, $W.m^{-2}$

L_n - balanço de radiação de ondas longas

M_a - peso molecular do ar, 29 g mol^{-1}

m_{ar} - massa de ar, kg

m_d - massa de ar seco, kg

m_v - massa de vapor d'água, g

M_w - peso molecular da água, 18 g mol^{-1}

N_2 - gás nitrogênio

n' - coeficiente de atenuação para a velocidade do vento

O_2 - gás oxigênio

P - pressão atmosférica, hPa

q - umidade específica do ar, g kg^{-1}

q_s - umidade específica de saturação, g kg^{-1}

R_a - radiação emitida pela atmosfera, $W.m^{-2}$

r_a - resistência aerodinâmica global (s m^{-1})

r_b - resistência média da camada limite por unidade de área de vegetação (s m^{-1})

RFA - radiação fotossinteticamente ativa, mol m^{-2} s^{-1}

R_g - radiação solar global incidente na superfície, $W.m^{-2}$

R_n - saldo de radiação, $W.m^{-2}$

R_r - radiação solar refletida pela superfície, $W.m^{-2}R_n$ - saldo de radiação, $W.m^{-2}$

R_s - radiação emitida ou emissão da superfície, $W.m^{-2}$

r_s - resistência estomática (s m^{-1})

$r_{smín}$ - resistência estomática mínima, s m^{-1}

$r_{smáx}$ - resistência estomática máxima, s m^{-1}

S_n - balanço de radiação de ondas curtas

T_a - temperatura do ar próximo à superfície, K, °C

T_f^4 - temperatura da superfície foliar do dossel, K

T_s - temperatura do solo a 2 cm de profundidade, °C

T_l - temperatura do solo a 5 cm de profundidade, °C

UR - umidade relativa do ar, %

u - velocidade do vento na altura do topo do dossel, m s^{-1}

α - albedo ou coeficiente de reflexão da radiação solar (ondas curtas)

Δq - deficit de umidade específica do ar, g kg^{-1}

ΔV - variação no armazenamento de energia na biomassa e na coluna de ar, $W.m^{-2}$

ε - razão entre M_w e M_a, adimensional

ε_a - emissividade atmosférica, adimensional

ε_f - emissividade da superfície foliar

γ - constante psicrométrica, hPa K^{-1}

λ - condutibilidade térmica, W m^{-1} K^{-1}

ρ_a - massa específica do ar, kg m^{-3}

σ - constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ W.m^{-2} K^{-4})

RESUMO

RIBEIRO, J.B.M. (2001). *Micrometeorologia do manguezal e o impacto do desmatamento em Bragança-PA*. São Carlos, 2001. 119p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O manguezal de Bragança-PA, que possui uma área de 120 km^2 apresenta algumas clareiras devido a desmatamentos. As condições micrometeorológicas no manguezal de Bragança-PA foram observadas no ano de 1997, cuja radiação solar global foi elevada com um pico de 938 W m^{-2}. Os registros mostraram uma grande atenuação da radiação fotossinteticamente ativa através do dossel do mangue. As estimativas do saldo de saldo de radiação no manguezal foram 78% da radiação solar, enquanto os fluxos de calor latente e sensível foram 69% e 24%, do saldo de radiação, respectivamente. O vento predominante foi de Nordeste e os valores de velocidade do vento foram intensificados com o avanço da estação seca. Os resultados ilustram a maior variação diária nas variáveis micrometeorológicas observadas sobre a área desmatada, comparado com aquelas observadas no interior do manguezal, um fator que foi mais pronunciado nos períodos secos. Por exemplo, a variação. média diária da temperatura do ar e a variação no déficit de umidade específica sobre a área desmatada foi quase o dobro daquela observada no manguezal. As altas taxas de aquecimento do solo exposto à incidência direta da radiação solar na área desmatada, submeteu o solo a valores de temperatura de 38,3°C em comparação com 27,0°C no manguezal. Este efeito foi notado nas variações do fluxo de calor no solo, cujas amplitudes atingiram 73,1 W m^{-2} na área desmatada e 9,4 W m^{-2} no manguezal, com retardo de duas horas.

Palavras-chave: micrometeorologia, manguezal, clima, radiação solar, balanço de radiação, fluxo de calor no solo.

ABSTRACT

RIBEIRO, J.B.M. (2001). *Micrometeorology of mangrove of Bragança-PA and the deforestation impact*. São Carlos, 2001. 119p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The mangrove of Bragança-PA that possesses an area of 120 km^2 it presents some deforested areas. The micrometeorological conditions in the mangrove was observed in the year of 1997, whose global solar radiation was high with a pick of 938 W m^{-2}. The recordings showed a large atenuation of photosynthetic active radiation through the dossel. The estimates of net radiation in the mangrove were 78% of solar radiation while the fluxes of latent and sensible heat were 69% and 24% of net radiation, respectively. The predominant wind was of northeast and the values of wind speed intensified with the progress of the dry season. The results illustrate the much greater daily variation in climatic variables observed over deforested area compared to those observed in the mangrove, a feature which is most pronounced in dry periods. For example, the average daily of air temperature range and the range in specific humidity deficit over deforested area was about twice that seen into mangrove forest. The high rates of heating of the exposed soil to the direct incidence of the solar radiation in the deforested area, it submitted the soil temperatures to values of the 38,3°C in comparison with 27,0°C in the mangrove. This effect was verified in the variations of the soil heat flux, whose amplitudes reached 73,1 W m^{-2} in the deforested area and 9,4 W m^{-2} in the mangrove with delay of two hours.

Keywords: Micrometeorology, Mangrove, Climate, Solar Radiation, Balance of Radiation, Flux of Heat in the Soil.

1 INTRODUÇÃO

Denomina-se manguezal a comunidade vegetal que se estende ao longo da zona costeira exposta aos processos transicionais do ambiente marinho, estuarino e lagunar, com alternância de inundações derivadas da atuação das marés em regime mixohalino. A palavra mangue origina-se do vocábulo malaio, manggimanggi e do inglês mangrove, designando as formações arbóreas da zona de balanceamento das marés, dos litorais tropicais.

O manguezal cobre mais de 100.000 km^2 das costas tropicais do mundo. Esse ecossistema anfíbico de estrutura peculiar, abriga uma grande variedade de plantas, animais e microorganismos, que têm de se adaptar às condições ambientais instáveis, como por exemplo, a característica oscilante das marés.

De acordo com as informações da União Internacional para a Conservação da Natureza – IUCN (1983), o Brasil apresenta a mais extensa área de manguezais do mundo, com cerca de 25.000 km^2, com a Indonésia em segundo lugar, ocupando 21.763 km^2. O manguezal do Brasil se estende desde o extremo norte, no estado do Amapá, até Santa Catarina, no Sul do Brasil. No entanto, a maior concentração encontra-se nos litorais do Amapá, Pará e Maranhão, com algumas ocorrências importantes nos estuários do Nordeste, especialmente na Bahia (DIEGUES, 1996).

Segundo SCHAEFFER-NOVELLI et al. (1997), cerca de dois terços da população mundial vive atualmente em regiões costeiras. No Brasil, estima-se que 73% das capitais litorâneas possuem população acima de 500.000 habitantes, sendo que 36% destas capitais possuem mais de 1.000.000 de habitantes. Até mesmo as cidades balneárias, que caracterizam-se por sua população flutuante, encontram-se sob ritmo acelerado de crescimento urbano, impulsionado pela especulação

imobiliária. Consequentemente, os espaços costeiros, incluindo os manguezais, encontram-se sob crescente pressão, provocada pelo processo de urbanização, industrialização, agricultura, maricultura, etc.

O manguezal é um ecossistema muito produtivo, por oferecer espaço vital para numerosas espécies de peixes, moluscos e caranguejos, apresentando alto rendimento pesqueiro e representando assim, a base de existência para grande parte da população local. Em vastas regiões do planeta tal ecossistema vem sendo progressivamente perturbados, pela industrialização, turismo, crescimento demográfico e construção de cidades. Devido a esses agravantes, em muitos locais o manguezal já foi totalmente extinto.

A grande biodiversidade característica do manguezal, depende em grande parte da estabilidade do meio físico, constituído pelo solo e a troposfera, porém, ambos tem sofrido muitas alterações pela ação antrópica do desmatamento para exploração econômica da superfície. Essas modificações da cobertura vegetal, comumente observadas na região amazônica, além de alterações microclimáticas, tem aumentado a preocupação sobre a possível irreversibilidade do impacto ambiental local e sua influência nos regimes hidrometeorológicos. Porém, muito pouco se conhece a respeito da biodiversidade do manguezal e as respostas da vegetação às condições climáticas atuais.

As condições micrometeorológicas do manguezal alteram-se em relação à latitude e sazonalmente em função da declinação solar, que provoca mudanças no balanço de energia. Entretanto, deve-se considerar que os ciclos de produção foliar nas diversas espécies associadas, estão condicionados também à incidência da radiação solar global, expondo de modo variado o ângulo de incidência da radiação na copa das árvores e conforme a posição das mesmas, o acúmulo de energia no substrato e na biomassa, o que contribui no balanço energético do manguezal.

As chuvas regionais exercem uma influência importante na dissolução dos sais marinhos baixando o seu conteúdo acumulado no substrato, que em caso contrário, impõem, em secas pronunciadas, um processo de concentração do sal, afetando a estabilidade do lençol freático. Por outro lado, uma certa quantidade da água

precipitada fica interceptada pela cobertura da vegetação, tendo importante papel na redução do potencial hídrico do solo, e contribuindo para que não haja grande erosão do solo durante chuvas intensas.

Obviamente, que estudar um dossel vegetativo significa investigar a camada limite superficial, que é o meio físico natural em que vivem as plantas. Isto implica, acima de tudo, no estudo dos componentes do balanço de energia nesta porção da atmosfera e os processos interativos, onde o vento e a temperatura tem papel importante nestes processos. O vento cria turbulência mecânica, facilitando as trocas de calor e de gás carbônico, principalmente nos dosséis mais rugosos e com folhas menores. A temperatura é um fator importante na contabilidade do balanço de energia no interior do manguezal, influenciando diretamente na evapotranspiração e demais fluxos energéticos. Porém, a descrição destes campos, dada a sua interdependência, tem sido um desafio.

É praticamente impossível organizar um modelo teórico, que represente a complexa organização dos mecanismos de interação da energia a partir da radiação solar incidente, entretanto, podemos simular o balanço de energia, considerando a estrutura básica e a fisiologia dos elementos principais do manguezal. Devido à dificuldade de medições micrometeorológicas em função dos elevados custos para a aquisição de instrumentação adequada, torna-se necessário a representação matemática das condições micrometeorológicas no manguezal, com a finalidade de determinar os fluxos líquidos de energia entre o dossel vegetativo e a atmosfera.

A discussão sobre as diferentes formas de desmatamento do manguezal envolve distintas áreas do conhecimento científico, mas todas convergem para uma única preocupação: a constatação de que a situação é grave e necessita de uma política de fato voltada para a preservação e manejo sustentável do manguezal.

O efeito da conversão do manguezal em áreas desmatadas pode implicar em uma alteração no equilíbrio de energia, representando um forte impacto ambiental, uma vez que os raios solares penetram mais profundamente no manguezal, reduzindo o percentual de energia refletida. Assim, remover o manguezal de seu estado natural poderá causar graves alterações na refletividade da superfície local. O desmatamento pode causar ainda uma mudança na quantidade de energia solar usada na

evapotranspiração. É claro que isto vai depender da resposta do manguezal às alterações do microclima e da água disponível no solo.

Os fatores abióticos influenciam diretamente na existência do manguezal e, tais condicionantes, em condições adversas, conduzem o manguezal a alterações fisiológicas extremas, que podem resultar na seu desaparecimento. No entanto, apesar da grande importância do estudo do manguezal sob vários aspectos da ciência, muito pouco se conhece a respeito dos processos de trocas de massa, energia e outros parâmetros bióticos e abióticos, entre as fronteiras do manguezal.

O efeito de absorção da radiação solar pelo substrato mantém um controle do balanço de radiação nos manguezais, os quais funcionam como uma espécie de regulador térmico, evitando grandes amplitudes térmicas diárias. Estes resultados foram constatados em diversos estudos, dentre os quais podem ser citados CHAPMAN (1977), SNEDAKER (1982), SILVA & HERZ (1987) e HERZ (1988). O efeito da localização geográfica do manguezal na zona intertropical influencia em sua existência, o que seria inadequado em latitudes médias, devido a intolerância do manguezal aos extremos climáticos. Sob o ponto de vista meteorológico, é necessário que seja limitada a forma de exploração do manguezal, pois o desmatamento deste ecossistema, expõe a superfície à radiação solar direta, o que implica em um aumento da amplitude térmica, podendo causar um ambiente adverso à regeneração do manguezal.

O manguezal de Bragança-PA, objeto de estudo deste trabalho, compreende uma área de 120 km^2 onde também ocorre o processo de desmatamento, que vem aumentando consideravelmente, facilitado pela construção de uma estrada que liga Bragança à praia de Ajuruteua, atravessando inteiramente o manguezal. As atividades humanas mais comuns são o extrativismo vegetal e animal, verificados na retirada da madeira, exploração da pesca, captura de caranguejos, manejo e exposição do solo para práticas agrícolas, construção de palafitas, aterros interceptando o manguezal para construção da estrada, instalação de rede elétrica, bloqueio na drenagem natural, através de canalização e barragens.

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. Portanto, a construção da estrada de acesso a Ajuruteua, certamente influencia nesse sistema, alterando as funções hidrológicas anteriores. Como as condições climáticas da região equatorial diferenciam-se de outras latitudes, caracterizadas principalmente por índices pluviométricos elevados, relacionados com altas taxas de evapotranspiração e temperatura do ar, é importante estudar a resposta do manguezal às condições climáticas e qual o papel desempenhado pelo manguezal quanto ao equilíbrio climático. Especificamente, a região costeira do Pará é muito carente no que concerne à uma base de dados micrometeorológicos que caracterizem a influência dos fatores climáticos na estabilidade do manguezal.

Durante a Conferência Rio 92 para Desenvolvimento do Meio Ambiente, foi elaborada a Agenda 21, que assegurou as bases para um desenvolvimento sustentável e a cooperação mundial para apoiar uma política ambiental e de desenvolvimento. A Rio 92 ampliou e estimulou a conscientização pública sobre a necessidade de medidas relativas à preservação do meio ambiente. Partindo dessa base, foi elaborado o programa Manejo e Dinâmica de Áreas de Manguezais (MADAM), em 1995, o qual resulta da cooperação entre o Zentrum für Marine Tropenökologie (ZMT), de Bremen, a Universidade Federal do Pará (UFPA) e o Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), sob o acordo governamental de cooperação no campo de pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico entre os governos do Brasil e da Alemanha, como parte integrante do programa financiado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia da Alemanha (BMBF).

Como parte do programa MADAM foi desenvolvido o projeto Estudo Micrometeorológico em Manguezais (EMMA). O EMMA desenvolveu campanhas para estudar as variações médias horárias da radiação solar global, radiação fotossinteticamente ativa, precipitação pluvial, temperatura e fluxo de calor no solo, temperatura do ar, déficit de umidade específica, direção e velocidade do vento e evaporação, com base em medições realizadas no manguezal de Bragança-PA, a nível da superfície, vários níveis de altura acima do solo e acima da copa das árvores, utilizando-se uma torre micrometeorológica e uma estação meteorológica automática, com a finalidade de caracterizar o meio ambiente através dos elementos estudados,

ampliando o conhecimento sobre as condições micrometeorológicas propícias à sustentabilidade do manguezal.

Com base nos dados do projeto EMMA os objetivos específicos desta tese são:

- Analisar as variações horárias da radiação solar global e do saldo de radiação acima da copa das árvores no manguezal;
- Analisar os perfis micrometeorológicos de temperatura do ar, umidade específica do ar e velocidade do vento, em diferentes níveis de altura, desde a superfície até acima da copa das árvores, e comparar as diferenças entre temperatura do ar e temperatura da superfície foliar na altura da copa das árvores no manguezal;
- Determinar as resistências estomáticas das folhas das árvores do manguezal natural, o fluxo de calor sensível e o fluxo de calor latente, visando avaliar o balanço energético na área de manguezal natural;
- Calcular o balanço de energia no manguezal, em dias com ausência de precipitação, utilizando como dados de entrada medidas do saldo de radiação, da velocidade do vento, da temperatura do ar e do solo, e da umidade do ar, além de propriedades físicas do dossel, incluindo as resistências estomáticas máximas e mínimas da cobertura vegetal e os fluxos de calor sensível e latente.
- Analisar as alterações nas variações termohigrométricas (temperatura e umidade específica do ar), geotemperaturas (temperaturas do solo) e fluxo de calor no solo no manguezal e área desmatada.

2 CARACTERÍSTICAS DO MANGUEZAL

2.1 Distribuição e origem

Segundo SCHAEFFER-NOVELLI (1995), o Brasil possui cerca de 10000 a 25000 km^2 de manguezal, dependendo da fonte consultada, enquanto que no mundo inteiro existem 162000 km^2 desse ecossistema.

As regiões de maior desenvolvimento do manguezal encontram-se na faixa entre os trópicos de Câncer e de Capricórnio (23° 27'N e 23° 27'S). Ocasionalmente se estendem até latitudes de aproximadamente 32°N e 39°S, quando apresenta menor desenvolvimento devido ao clima mais rigoroso. O desenvolvimento estrutural máximo do manguezal tende a ocorrer próximo à Linha do Equador. 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), conforme mostra a FIGURA 1.

As espécies de árvores que caracterizam o manguezal sempre se destacaram por sua paisagem característica, bastante diferenciada dos demais ecossistemas florestais do ambiente transicional ou costeiro. As formações dos manguezais são fortemente marcadas pela salinização do substrato e abrigam espécies vegetais altamente especializadas, de morfologia singular e fisiologia adaptada às alternâncias do ingresso das águas estuarinas, envolvendo seus troncos e sistema radicular por períodos de duração variável.

O substrato de composição orgânica predominante, dá origem à produção de gases e material particulado responsável pela manutenção de um número muito grande de microorganismos, que iniciam toda a cadeia alimentar e enriquecem as águas estuarinas, garantindo o desenvolvimento de ovos e larvas de espécies de peixes e crustáceos, que ocorrem sobre a plataforma continental brasileira.

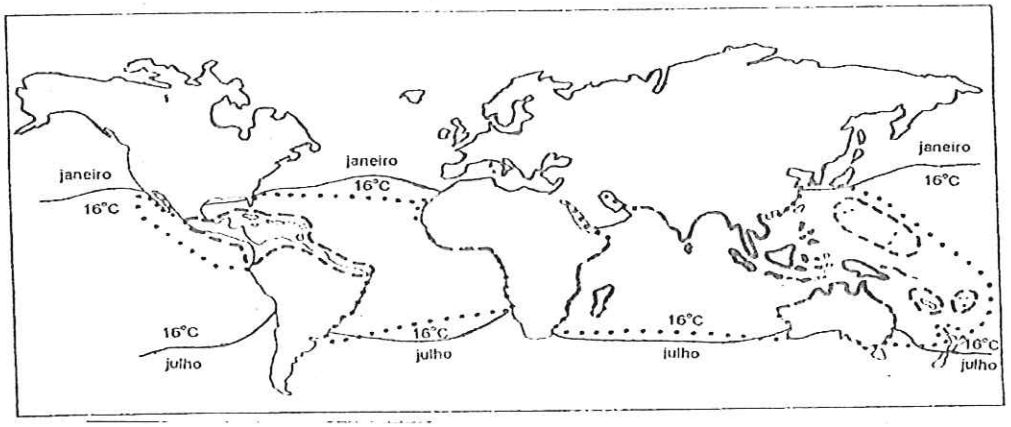


FIGURA 1 - Distribuição mundial do manguezal, considerando-se para o manguezal com mais de 20 espécies de árvores as linhas (—), entre 5 e 20 espécies as linhas (---) e menos que 5 espécies as linhas (•••). Fonte: CHAPMAN (1977).

O manguezal é composto por espécies lenhosas e perenifólias caracterizadas por uma biologia extremamente especializada capaz de desenvolver modificações morfológicas, anatômicas e fisiológicas que permitem colonizar terrenos alagados esujeitos ao fluxo e refluxo das marés. Deste modo, o mangue constitui-se em um tipo de vegetação singular que não suporta temperaturas baixas, confinado a um habitat salino ou salobro marinho, hostil à maioria das plantas pelos baixos níveis de oxigênio no solo, resultante da oxirredução da matéria orgânica gerada pela decomposição de folhas, frutos e da biota associada.

As espécies vegetais que compõem o manguezal chegam a 60 diferentes tipos de árvores e outros 20 a elas associadas (HAMILTON & SNEDAKER, 1984), oferecendo suporte a mais de 2000 espécies de animais. Na costa brasileira, as espécies de mangue encontradas na constituição do manguezal diferenciam-se por grupamento na longitude de 45° Oeste. TOMLINSON (1986) distingue um domínio para *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* entre 30° e 45° Oeste de longitude, mais duas espécies representadas por *Avicennia germinans* e *Rhizophora racemosa*, adaptadas às condições climáticas do litoral norte.

O manguezal brasileiro representa uma associação de espécies de mangue dos gêneros *Rhizophora*, *Avicennia*, *Laguncularia*, *Conocarpus* e de espécies facultativas dos gêneros *Hibiscus*, *Acrostichum* e *Spartina*. As múltiplas variações botânicas e

associações animais dependem de uma série de condicionantes ambientais que potencializam ou inibem o desenvolvimento das árvores, conforme os parâmetros físicos, hidrográficos e atmosféricos, em sua distribuição têmporo-espacial determinda pelo efeito de variação da latitude.

O manguezal de Bragança-PA é caracterizado por apresentar um número reduzido de espécies: o mangue vermelho (*Rhizophora mangle*) com rizóforos, que auxiliam na sustentação da planta no sedimento lodoso, a chamada Siriúba (*Avicennia shaueriana*) e o mangue branco (*Laguncularia racemosa*), os dois com raízes radiais que apresentam pneumatóforos.

Demonstrar o potencial energético e alimentar do manguezal é relativamente fácil, com base nos seus antecedentes econômico-sociais nas comunidades liotorâneas, desde sua existência que retrocede a pré-história, integrando a paisagem costeira com a construção de sambaquis. O manguezal é um sistema de suporte à vida, suprindo de alimentos grupos primitivos, ainda representados por seus descendentes, desde o início da colonização portuguesa. De um modo geral, é um povo de baixa renda praticando atividades que constituem a base social e econômica, dirigida pelo meio ambiente como repositório de recursos. Cerca de 80% das famílias que vivem em torno do manguezal de Bragança, depende exclusivamente do ecossistema, constituindo como base de sua economia a pesca e a captura de caranguejo, comércio este que movimenta boa parte da economia do município.

2.2 Partição de energia no manguezal

A energia solar chega à superfície de duas formas: radiação solar direta (atinge a superfície diretamente) e radiação solar difusa (proveniente das nuvens e atmosfera), cujo produto final é a radiação solar global. Ao atingir a superfície, uma parcela da radiação solar global é refletida pela superfície para o espaço, enquanto o restante da radiação é absorvida. Uma parte da radiação absorvida é o saldo de radiação, que é usado para aquecer a superfície e o ar acima dela, ou para fornecer energia para evaporar água do solo e da vegetação (BASTABLE et al., 1993). O saldo de radiação é a quantidade de energia que está disponível para o manguezal e,

portanto, representa a quantidade de energia absorvida pelo manguezal, e que está disponível para ser usada nos processos de evapotranspiração e aquecimento do ar, da biomassa e no processo de fotossíntese.

De acordo com WRIGHT et al. (1992), a radiação solar é a componente dominante do balanço de energia, determinando o comportamento do mesmo, cujas variações estão diretamente associadas às variações da latitude, altitude, declinação solar, cobertura de nuvens e turbidez atmosférica. A presença de nebulosidade influencia o comportamento do balanço de energia, por interceptar parte da radiação solar incidente e por direcionar os fluxos de radiação difusa para a superfície. Conforme os estudos de ZHANG et al. (1996), na Amazônia, cerca de 88% da radiação solar incidente é absorvida pela superfície. A radiação líquida é balanceada pelos fluxos de calor sensível e latente. Aproximadamente 64% da energia líquida é alocada para fluxo de calor latente através da evapotranspiração, enquanto 36% transforma-se como calor sensível.

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) é uma fração do espectro da radiação solar, sendo considerada como o fluxo de fótons com comprimentos de onda entre 400 e 700 nm, sendo a faixa de radiação absorvida pelas plantas. Apesar de ser considerada como uma parcela constante da radiação solar global, em muitos estudos, vários autores identificaram a dependência da RFA com diversos fatores, tais como, elevação solar, turbidez atmosférica, conteúdo de água precipitável, além das variações sazonais e grau de nebulosidade (ALADOS et al., 1996; BRITTON & DODD, 1976; HOWELL & MEEK, 1983; MEEK et al., 1984), além de estimativas da RFA através da sua relação com a radiação solar global, a qual é medida com mais freqüência.

A distribuição da energia solar nos manguezais é alterada em relação à localização geográfica devido às variações na incidência da radiação solar ao longo do ano. Tais variações provocam mudanças na partição de energia e por conseqüência no balanço térmico. Estes fatores influem diretamente no comportamento das condições micrometeorológicas do manguezal. A densidade de cobertura vegetal do manguezal também influencia na interceptação e aproveitamento da radiação solar, pois, os ciclos de produção foliar das diversas espécies de mangue condicionam a incidência da

radiação solar, expondo de modo variado o ângulo de incidência da radiação na copa das árvores e conforme a posição da mesma, a radiação solar penetra mais profundamente e há um armazenamento de quantidades variadas de energia no substrato e na biomassa, o que contribui no balanço térmico do manguezal.

No manguezal, as folhas jovens contêm menos água do que as adultas, pois, as folhas quando não maduras, são formadas por pequenos vacúolos cheios de água (LUNDGARDH, 1966). Os pigmentos são parte integrante do elemento fluido e não podem ser separados para o efeito de diagnóstico da influência da água no regime de interações com a energia eletromagnética. RABINOWITCH (1951) demonstrou que a introdução de água pura nos espaços intracelulares das folhas aumenta a reflectância em relação às folhas de conteúdo túrgido, havendo um decréscimo na absorção atestado por MOSS & LOOMIS (1952) na maior parte da região do visível, especialmente em 680 nm. Desta forma, as experiências de PEARMAN (1966) confirmaram essa tendência, pois, segundo o autor, a desidratação natural das folhas aumenta a reflexão das radiações do visível, devendo ser levada em conta essa perda de água em qualquer amostragem sobre a vegetação, especialmente no período diurno, regulado pela evapotranspiração das plantas.

Muitos estudos atribuem à salinidade, a alteração de estruturas internas da folha. Certas adaptações morfológicas da vegetação desenvolvida em ambientes salinos, repercutem em folhas grossas de parenquima mais desenvolvido, menos teor de clorofila, espaços intracelulares menores, menos estômatos e menos cloroplastos (MYERS, 1983).

As folhas das árvores movimentando-se continuamente em função do vento e recebendo radiação do Sol, cuja posição está constantemente sendo modificada por sobre a cobertura de nuvens, que por sua vez está em constante deslocamento, absorvem quantidades flutuantes de radiação. Não obstante, a penetração da radiação solar no dossel aumenta linearmente com as maiores elevações solares. De um modo geral, as folhas verdes absorvem de 75% a 90% das radiações de comprimento de onda característico do azul (450 nm) e do vermelho (680 nm), utilizando essa energia radiante no processo de fotossíntese, exatamente a 550 nm, onde ocorrem reflectâncias máximas em torno de 20% da energia incidente. Pode-se afirmar que os

manguezais em sua funcionalidade capacitam o ambiente em termos de absorção das radiações, especialmente do espectro infravermelho, caracterizando diferentes albedos (SILVA, 1991).

A funcionalidade biológicas das plantas é condicionada aos fatores externos do meio ambiente, destacando-se a radiação solar, a temperatura e a umidade do ar, os quais são de extrema importância na performance biológica, sendo verificados no processo de fotossíntese e demais atividades internas. A radiação aumenta a temperatura da folha por absorção e no processo de evapotranspiração, há um consumo de calor latente da folha, o que faz com que ocorra um resfriamento da planta. Além disso, o próprio meio ambiente, através da convecção pode agir, no sentido de aquecê-la ou resfriá-la em seu contato com o ar na zona periférica envolvente, mantendo o equilíbrio bioenergético. Quanto à conservação de energia, as folhas representam o elemento mais importante da planta, pois, acumulam energia proveniente da radiação solar, de tal modo que seu balanço térmico impeça os excessos entre frio e calor, danosos à sobrevivência do manguezal.

A superfície do manguezal, a despeito dos entrecortes dos igarapés, possui um aspecto quase plano, sendo revestida por elevadas concentrações de matéria orgânica particulada e decomposta, misturada a partículas sedimentares de origem mineral. Nas partes em que as folhas liberadas pelas árvores revestem as formações superficiais de espessas camadas de aparência escura e úmida, até imersa, associada aos componentes dissolvidos do tecido foliar decomposto, ocorre grande absorção de energia, comparada a de um corpo negro natural.

O dossel do manguezal e a atmosfera interagem dinamicamente através de processos físicos que produzem transportes de energia e massa. Portanto, todas as informações relacionadas à partição de energia radiante incidente sobre o manguezal, são fundamentais para o entendimento destes processos que controlam o microclima do manguezal. As comunidades vegetais do manguezal de Bragança, possuem, estruturalmente, um porte elevado e apresentam uma arquitetura de predominância horizontal, o que contribui na atenuação da radiação solar. Portanto, a quantidade de radiação que consegue atingir o solo é presumivelmente pequena. No entanto, a capacidade de aprisionamento da radiação térmica faz com que uma pessoa

adentrando no interior do manguezal, em certas ocasiões, sinta a sensação de calor, umidade e odor característico da formação de bolor. A diminuição da radiação solar no manguezal causa a impressão do amanhecer começar mais tarde e o entardecer iniciar mais cedo, esta situação é ainda mais pronunciada na estação chuvosa.

A quantidade de energia absorvida pelo manguezal depende primariamente da densidade e desenvolvimento da folhagem das árvores; quanto mais denso o manguezal, maior quantidade de radiação solar incidente pode ser absorvida, assim, a atenuação da insolação aumenta progressivamente com o incremento da área foliar. No período em que as árvores perdem grande parte das suas folhas, a atenuação da radiação solar é reduzida, aumentando a contribuição da biomassa para interceptar e absorver a radiação incidente.

Em dias ventilados a penetração da radiação solar tende a ser maior, pois conforme aumenta a velocidade do vento, há uma agitação das folhas, modificando a disposição das copas das árvores e permitindo a formação de caminhos de entrada da radiação no interior do manguezal.

Elaborar um modelo matemático para descrever a partição de energia em um ecossistema, que envolve a presença da vegetação é extremamente complexo. Especialmente pela carência de medições *in situ* de todas as propriedades que envolvem as respostas bióticas e abióticas do ecossistema. Sabe-se que a radiação solar é fonte primária de energia para todos os processos vitais na biosfera, porém os mecanismos de conversão desta energia em armazenamento de calor, fluxos de calor latente e sensível, fotossíntese, resistências à evapotranspiração, etc, é muito complicada por envolver o dossel do manguezal, que apresenta diferentes respostas biológicas, de acordo com as condições micrometeorológicas.

A precisão e confiabilidade que envolve as modelagens do balanço de energia, implicam no grau de sofisticação do modelo, que por si próprio exige boa disponibilidade e qualidade das informações medidas, para que apresente bons resultados das simulações, o que é muito difícil de se obter na prática, dadas as dificuldades operacionais citadas.

Modelos simplificados foram desenvolvidos para simular o balanço de energia com estimativas satisfatórias. Com o auxílio de alguns parâmetros como a massa

específica e a capacidade calorífica do ar, é possível calcular-se os fluxos de calor sensível e latente entre a superfície e a atmosfera. Porém, a vegetação afeta os fluxos de momento, massa e energia, cuja taxa de transpiração também influi nos processos de aquecimento ou resfriamento do dossel, que por sua vez é um fator importante no fluxos de calor latente e sensível.

Muitos modelos tomam por base a equação de Penman-Monteith para expressar a evapotranspiração, relacionando de forma empírica a resistência estomática da cobertura vegetal com parâmetros ambientais medidos, considerando-se a influência da radiação solar.

Para estimativa da partição de energia em áreas de floresta e pastagem na Amazônia, SANTOS ALVALÁ (1993) desenvolveu um modelo com base na solução iterativa da equação do balanço de energia, para determinação da temperatura da superfície, em dias sem precipitação, utilizando medidas de radiação solar global, saldo de radiação, velocidade do vento, temperatura do ar e do solo, inclusive as propriedades físicas e fotométricas do solo e do dossel, utilizando as resistências estomáticas máximas e mínimas. Os resultados das simulações para todos os componentes do balanço de energia foram comparados com dados medidos e apresentaram correlações satisfatórias, cujas discrepâncias encontradas para os fluxos de calor sensível e latente, foram associadas tanto aos erros incorporados nas estimativas da resistência aerodinâmica, quanto aos erros de parametrização da resistência estomática, devido, por exemplo, a não inclusão do potencial de água nas folhas e da concentração de gás carbônico.

2.3 Regime pluviométrico

As precipitações são muito importantes na dissolução dos sais marinhos, por diminuírem o seu conteúdo acumulado no substrato. Em caso de longos períodos de estiagem, esse acúmulo pode causar uma elevada concentração de sal, afetando a estabilidade do lençol freático. Evidentemente, isto causa um desequilíbrio e pode introduzir reações de intolerância ao ambiente por parte do manguezal. No entanto, os excessos de precipitação também representam uma condição extrema adversa ao

ecossistema, por diluírem demasiadamente os sais marinhos. Por influência do escoamento superficial, os depósitos que ficam além da faixa do manguezal são dessalinizados freqüentemente pela ação da precipitação, conduzindo o sal existente na superfície, por percolação, ao lençol freático de reduzida renovação (BALLS et al., 1997).

Episódios de secas prolongadas durante o ano causam a extinção de muitas espécies de vegetação do manguezal, devido aos distúrbios, que afetam a estabilidade das soluções de sal no lençol freático, o que pode ser comparado ao prejuízo causado por longos períodos de deflúvios, com grande volume de água doce, durante a estação chuvosa. Todas estas instabilidades de origem climáticas interferem diretamente no comportamento fisiológico das plantas, seja por excesso ou por redução do potencial salino.

Na costa brasileira, excessos de precipitação ocorrem geralmente no sul, sudeste e norte, onde as precipitações totais atingem cerca de 3000 mm por ano, apesar da distribuição irregular das precipitações entre o verão e o inverno. Na costa nordeste as estiagens prolongadas causam alguns redutos de clima adversos à existência de manguezais. Em geral, esse fator inibe o desenvolvimento de ecossistemas de maior extensão. Os manguezais também respondem negativamente às altas taxas de evaporação em decorrência das estiagens, como é o caso da região de Cabo Frio, no Rio de Janeiro.

De acordo com os resultados de CHAPMAN (1977) a temperatura e a precipitação tem papel de destaque na biogeografia do manguezal, onde o autor discute a relação entre estas variáveis para a organização da distribuição do manguezal. BAGNOULS & GAUSSEN (1953) e WALTER & LIETH (1987) fizeram uma combinação destas variáveis para organizar um diagrama, no qual são quantificados tipos de ambientes secos e úmidos para definir de modo criterioso um fator limitante da biota.

As zonas equatoriais, apesar da alta pluviosidade, apresentam maior exuberância no porte das árvores. Isto é justificado pela distribuição regular das precipitações e das altas temperaturas, durante o ano todo. Com essa característica, o ecossistema dispõe de grande diversidade de espécies vegetais, boa densidade e

alturas mais elevadas. As precipitações tem repercussão na fisiologia das plantas halófitas e propriedades físicas dos solos, expostos às precipitações ou aos deflúvios extremos que reduzem a salinidade das águas no interior dos canais de drenagem das planícies costeiras. BLASCO (1984) destaca que tais instabilidades pluviométricas ocorrem em litorais subtropicais, fixando no manguezal seu reflexo, reduzindo-o a portes menos exuberantes. No estudo da queda de liteiras no manguezal da Costa da Índia, WAFAR et al. (1997), constataram ser possível obter boas previsões de queda com base em equações envolvendo, principalmente, velocidade do vento e precipitação, cuja média anual calculada diferenciou por apenas 4% daquela observada.

2.4. Balanço térmico

A razão limite das temperaturas é essencial no desenvolvimento do manguezal, garantindo suas funções por um metabolismo de altas taxas de produtividade permitida pela insolação e balanço de calor local.

O manguezal mantêm temperaturas bastante diferenciadas dos ambientes periféricos, conforme as comparações realizadas simultaneamente, da variação diurna da temperatura do ar na Mata Costeira e na Floresta Atlântica, onde foram constatadas temperaturas mais elevadas no manguezal (SILVA & HERZ, 1987). Segundo os autores, todo metabolismo da vegetação é dependente de um balanço térmico, extremamente diverso daquele encontrado para a Mata Costeira e Floresta Atlântica.

De acordo com SNEDAKER (1982) as temperaturas médias favoráveis ao desenvolvimento das árvores do manguezal ficam próximas a 20°C, com variações térmicas que não excedem os 5°C. CHAPMAN (1977) cita *Avicennia germinans* como espécie capaz de tolerar uma temperatura mínima de 10°C. Nesse intervalo os gradientes térmicos mais dilatados estão associados a uma diversidade maior das espécies nas subunidades do ecossistema (HERZ, 1988).

BLASCO (1984) em suas considerações sobre a biogeografia do manguezal, para uma cartografia a nível mundial, concorda com SAENGER et al. (1977) sobre o

desaparecimento das espécies vegetais em litorais que apresentaram 16°C de temperatura média, nos meses de janeiro e julho. Algumas dessas espécies na costa brasileira (*Avicennia schaueriana*) limitadas à latitude de 29° Sul, enquadram-se nesta classificação, cabendo entretanto lembrar que em invernos ocasionais toleram curtos períodos de 2°C na temperatura ambiente.

O manguezal tem uma característica de regulador térmico, devido ao acúmulo da radiação solar no substrato, cujo elevado conteúdo de água, constantemente renovado pelo efeito de maré, está sempre disponível no substrato para ser usado pelas plantas no processo de evaporação. Esta característica é provavelmente um dos principais componentes para a manutenção de temperaturas às vezes superior a do ar (SILVA & HERZ, 1987). A umidade permanente e a alta absorção de energia, principalmente na faixa de radiação infravermelha, garantem a saturação do ar, afetando a evapotranspiração.

Segundo EHLERINGER & FORSETH (1980), os microambientes das folhas, individualmente, são diferentes quando comparados com as demais folhas integrantes do mesmo dossel, considerando-se também as variações temporais. A própria disposição das folhas quanto à sua inclinação e sombreamento, causam diferentes quantidades de absorções da radiação solar e, assim, são observadas diferentes temperaturas, umidades e trocas de calor (sensível e latente) com o ar do meio ambiente, considerando-se também a contribuição do vento, que modifica constantemente estes parâmetros. Outrossim, as plantas possuem a característica de mudar a orientação de suas folhas em resposta a certos tipos de estímulos, que causam movimentos lentos, movimentos em resposta à agitação e movimentos em resposta às variações na iluminação, dentre outros. Tais estímulos promovem rápidas reações dos estômatos no microambiente, provavelmente causando grande variabilidade das condutâncias estomáticas, gerando gradientes horizontais e verticais de temperatura e umidade dentro do dossel (COLLATZ et al., 1991; DOLMAN et al., 1991).

Todos os ecossistemas são estratificados de alguma forma. Esta estratificação refere-se a camadas de separações entre organismos no espaço ou no tempo. Dada a sua estrutura física e adensamento de folhagens o manguezal apresenta estratificações

verticais entre camadas com características distintas em sua micrometeorologia, devido à quantidade de radiação solar que é atenuada ao atravessar o perfil do dossel, gerando uma estratificação térmica e higrométrica, inclusive gradientes de vento, desde o topo até a superfície. Portanto, a quantidade de radiação solar que atinge o solo do manguezal é satisfatoriamente reduzida, porém, o solo, como parte acoplada à camada superficial, desempenha um importante papel na interação com o manguezal, na determinação da densidade e tipos de plantas que crescem na área, que por seu turno, influenciam na existência de animais que habitam este ecossistema.

A estratificação vertical do manguezal é caracterizada conforme a altura da vegetação, sendo composta por um estrato imediatamente acima do dossel, receptor da energia solar incidente; um estrato superior, onde a penetração da energia solar incidente é bastante absorvida e espalhada pela folhagem e começa a sofrer um declínio em função da maior concentração da área foliar; um estrato inferior, onde a energia solar chega bastante interceptada e um estrato superficial, em que o ar está sofrendo diversos processos físicos de transferência com o solo.

De acordo com RIBEIRO et al. (1995), apesar da diferença entre a temperatura do ar na base e no topo de uma vegetação densa, eventualmente atingir, até cerca de 10°C, normalmente esta diferença é muito menor, diminuindo ainda mais à noite. Geralmente as temperaturas no dossel ficaram dentro de ±2°C daquelas medidas fora dele. A umidade específica variou cerca de 5 g de vapor d'água por kg de ar, ou 0,8 kPa. Os gradientes de ambas são muito menos abruptos (íngremes) acima da vegetação. De forma observacional, em um certo nível de altura acima da vegetação, normalmente a temperatura do ar durante o dia segue aproximadamente, uma curva sinuosa, refletindo os cursos diurnos da radiação incidente em ondas curtas e o saldo de radiação, mas atrasando por duas a três horas; à noite tende a cair mais ou menos linearmente do pôr ao nascer-do-Sol. Desta forma, é possível aproximar o curso diário da temperatura da descrição das temperaturas máxima e mínima.

Segundo LARCHER (1986), 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 ao solo, onde apenas uma pequena parte da energia é convertida, a temperatura do ar permanece estável e fresca. Como as plantas trocam energia com o

meio ambiente, a temperatura das partes das plantas acima do solo pode divergir consideravelmente da temperatura do ar. Assim, a troca de calor das plantas deve sempre ser considerada com respeito ao balanço de energia do habitat. A radiação líquida (saldo de radiação), o consumo de energia e a troca de calor são os principais fatores que influem na energia e possibilitam o equilíbrio térmico das plantas.

A troca de calor entre as plantas e o meio ambiente, efetua-se também pela condução e convecção de calor (troca de calor sensível) e pela evaporação ou condensação (troca de calor latente). A condução não constitui fator significante para as plantas. A redistribuição de calor por convecção e evaporação é intermediada sobretudo pelos fluxos de momento e vapor d'água.

Sob condições de balanço positivo de radiação, as plantas se aquecem e a direção da convecção de calor, em geral, verifica-se da superfície das plantas para o meio ambiente. Por outro lado, se a superfície das plantas for mais fria que o ar, o calor é transferido para ela a partir do meio ambiente. A troca de calor com o meio ambiente por convecção será tanto mais eficaz quanto menores e mais subdivididas forem as folhas, e quanto maior for a velocidade do vento. Sob forte insolação, a planta é cercada por um envoltório sobreaquecido de ar, junto à sua superfície. O vento tem um importante papel nas trocas de calor entre as plantas e o meio ambiente, por afastar esta camada de ar que envolve a superfície das plantas, aumentando assim a taxa de troca de calor. Porém, o equilíbrio térmico das plantas não é determinado apenas por fatores físicos. Devido à regulação estomática da transpiração ele é afetado também pelos processos fisiológicos da planta, extremamente complexos.

Suficiente, mas não excessivo, o calor é um pré-requisito básico para a vida.. O processo vital e certa faixa de temperatura restringem-se mutuamente e possuem ótima temperatura operacional, cujo rendimento declina em ambos os lados. Assim, para cada espécie de planta, e para cada estágio de desenvolvimento, podem-se fixar "temperaturas cardeais" características (LUGO & SNEDAKER, 1975). Elas não constituem constantes rígidas, mas uma faixa ao redor da norma genericamente fixada. Nessas escalas, as plantas de uma espécie isolada podem evoluir para diferentes ecótipos metabólicos e/ou de resistência. As temperaturas ótimas, mínimas

e máximas, para a planta podem variar à medida que a planta adapta-se às condições ambientes.

É possível, do ponto de vista térmico, conhecer os limites de sobrevivência para as plantas. Estes limites consistem nas temperaturas mais baixas e nas mais elevadas nas quais uma planta pode sobreviver. Faz-se uma distinção entre o limite de atividade e o limite de letalidade. Quando o limite de atividade é ultrapassado, os processos vitais ativos diminuem, de modo reversível, até uma taxa mínima; o protoplasma entra em estado de anabiose (com frio ou calor excessivos). No limite de letalidade, o dano é permanente e a vida se extingue. A resistência ao calor ou ao frio intensos é uma vantagem para qualquer planta, sobretudo para aquelas que precisam evitar a competição. No caso dos mangues, estes não conseguem se estabelecer sob condições de temperatura desfavoráveis. São encontradas só em habitats fechados e climaticamente limitados a uma faixa entre os extremos de temperatura.

Segundo STEINKE et al. (1983) a probabilidade de uma espécie vegetal sobreviver é função de sua capacidade de suportar condições atmosféricas extremas e preservar-se em habitats ameaçados. As temperaturas altas e baixas prejudicam as funções vitais e limitam a distribuição de determinada espécie. Durante a época de calor, as plantas enfrentam não apenas altas temperaturas, mas também a ameaça de dessecação. Para avaliar o grau em que uma planta é ameaçada pelo stress térmico, é necessário saber a distribuição, freqüência e tempo provável de ocorrência de temperaturas extremas. Temperaturas perigosamente elevadas nas plantas – exceto, naturalmente, em incêndios – ocorrem somente sob insolação intensa. O aumento da reflexão neutraliza o superaquecimento. É o caso das folhas de mangue que em sua parte superior dobram as lâminas de suas folhas interceptando menos luz solar. O stress reduz o resfriamento transpiracional, causando assim uma quantidade substancial de calor sensível para ser gerado por todo o dossel. Deste modo, a natureza erectófila do mangue na parte superior do dossel, é uma resposta de reação aos excessos de calor por absorção radiativa, o que facilita a penetração da radiação solar que aprofunda-se através do dossel, sofrendo diversos processos de espalhamento. Nestas condições, ao atingir a superfície, esta radiação é então principalmente consumida pelo aquecimento do solo e da camada de ar adjacente.

Segundo RIBEIRO (1993), quando não dispomos de corretas medições de temperatura das plantas, as estações meteorológicas padrões podem fornecer estimativas aproximadas para comparar, em larga escala, plantas de tamanho adequado. Tais interferências podem ser úteis, mas elas não substituem uma análise ecofisiológica quantitativa. Os efeitos do calor dependem da duração da exposição. Isto é, um leve excesso de calor durante muito tempo é tão lesivo quanto um calor intenso durante um curto espaço de tempo. A resistência ao calor é propriedade muito específica de determinadas espécies e mesmo variedades. Espécies intimamente aparentadas do mesmo gênero podem diferir, acentuadamente, a este respeito. A evolução de algumas adaptações características foi associada às condições ambientais que afetam a vida da planta, em sua amplitude de distribuição original ou presente.

A temperatura do solo é uma propriedade fundamental para a compreensão das características físicas e biológicas dos ecossistemas, pois o conhecimento de sua variação contribui para o entendimento dos fenômenos relacionados com os balanços energéticos e do controle do crescimento e desenvolvimento de plantas, além da decomposição da matéria orgânica. As propriedades térmicas dos solos já foram estudadas por vários autores (HORTON et al., 1983; SIKORA et al., 1990; PICCOLO et al., 1993; SANTOS ALVALÁ et al., 1996). No entanto, poucos trabalhos foram desenvolvidos para regiões costeiras afetadas por inundações de marés, onde o regime térmico do solo é governado pela ação da atmosfera e da água do mar.

No manguezal, o ambiente térmico das camadas superiores do solo não apresentam grandes variações de temperatura, cujas mudanças são produzidas pelas alterações nas condições atmosféricas ou pelas inundações durante as marés altas, por meio das águas de diferentes temperaturas que penetram nos canais de drenagem. Quando não ocorrem as inundações, os perfis verticais de temperatura no solo representam as características térmicas dos sedimentos incorporados no substrato.

Apesar da complexidade na determinação das propriedades térmicas neste sistema intrinsicamente dinâmico, os perfis de temperatura, que resultam primariamente da difusão molecular de calor através do sedimento, assemelham-se àqueles típicos de solos de outros tipos de florestas, e sua forma depende das

propriedades térmicas e das condições micrometeorológicas reinantes (HARRISON & PHIZACKLEA, 1987b). PICCOLO et al. (1993) calculou a difusividade térmica do solo para pântanos salgados na Baía de Fundy, Canadá, por dois métodos, a equação de amplitude e aproximação numérica. Os resultados mostraram que, havendo dados suficientes o método de aproximação numérica é mais prático de ser utilizado.

As variações na temperatura do solo são controladas pela taxa na qual a energia é transferida na superfície do solo (fluxo de calor no solo). Medidas precisas do fluxo de calor no solo são importantes em muitos estudos envolvendo o balanço de energia superficial, especialmente em pastagens e áreas de vegetação curta. Segundo MASSMAN (1992) a medição do fluxo de calor no solo além das importância biológica, é importante para verificar externamente as correlações de vórtices a partir de medição dos fluxos turbulentos e parametrizar os modelos de larga escala.

O aquecimento solar da superfície é a forçante básica de condução de calor para a atmosfera e para níveis mais profundos do solo. Convencionalmente, o fluxo de calor no solo, por ser o menor termo do balanço de energia, é espacialmente variável e muito difícil de se medir, sendo desprezado em muitos estudos que tratam do balanço de energia em florestas, devido à reduzida taxa de aquecimento no solo.

2.5 Estrutura do vento

Na superfície terrestre são estabelecidos gradientes diferenciais de variáveis, os quais são geradores de muitas das circulações de mesoescala, ou seja, sistemas de mesoescala induzidos pelo terreno, tais como as brisas marítimas e terrestres, os ventos vale-montanha, as circulações urbanas e o escoamento forçado sobre terreno rugosos. Estes gradientes influenciam outros escoamentos de mesoescala, tais como as linhas de instabilidade, deslocamento de aglomerados de nuvens e furacões.

As constantes modificações na composição foliar do dossel da vegetação alteram sua rugosidade e, portanto, influenciam o padrão do vento e os transportes turbulentos de calor e umidade. Estudar um dossel vegetativo significa investigar a camada limite superficial, que é o meio físico natural em que vivem a maioria dos seres. Isto implica no estudo do campo de vento nesta porção da atmosfera. O vento

influencia no crescimento da vegetação por ser um mecanismo de transporte de gás carbônico, vapor d'água e calor sensível, entre a vegetação e a atmosfera.

A relação de acoplamento entre a atmosfera e a vegetação se dá através da camada limite que se desenvolve na zona de superfície até próximo a copa das árvores e que se considera o âmbito da micrometeorologia (GRACE, 1983). É nesta camada que caracteriza-se o microclima dos mangues. A camada de fricção do dossel dos mangues, "camada limite do dossel" é a região que tem uma espessura curta, onde o fluxo do vento é laminar e a velocidade do vento se reduz quase a zero. Quando o vento está ativo a troca de calor e momento entre as folhas da copa e a atmosfera acontece por difusão em um processo denominado "convecção forçada". Quando o vento está em condições de calmaria, caracteriza-se a "convecção natural".

Naturalmente, a cobertura vegetal, por causa de sua rugosidade serve de barreira contra o fluxo do vento, criando acima da camada de fricção, uma camada adjacente com turbulência acentuada, denominada "camada de difusão turbulenta". Na camada turbulenta, pacotes de ar (chamados "eddy") se movem aleatoriamente, transportando o vapor d'água e o gás carbônico, de regiões de alta concentração para regiões de baixa concentração, a uma taxa determinada devido à estrutura turbulenta do ar, o qual, por sua vez, está determinado pela velocidade do vento e pelas características da rugosidade aerodinâmica da vegetação (LUGO & SNEDAKER, 1975).

Desde que, se possa assumir que a velocidade do vento na superfície das folhas seja nula, mas em constante movimentação na atmosfera sobre a vegetação, isto permite que a cobertura florestal se converta em um excelente sumidouro para o momento atmosférico (quantidade de movimento absorvido). Observando-se que durante o dia, a cobertura florestal é um sumidouro para o gás carbônico e fonte de vapor d'água e calor para a atmosfera.

O manguezal apresenta um desenvolvimento muito escasso em regiões que sofrem forte influência de ventos fortes, o que causa ressecamento e desenraizamento, embora sirva como proteção aos sistemas atmosféricos que penetram através da costa. A relação do vento com a queda de liteiras foi discutida por WAFAR et al. (1997), através de modelagem da queda de liteiras como função da temperatura,

precipitação, vento, radiação solar, umidade relativa e evaporação, onde constatou que as mudanças na quantidade de liteiras depositadas podem ser explicadas em termos das estações secas e chuvosas e da velocidade do vento, com uma diferença de menos de 10% entre as médias anuais calculadas e observadas.

2.6 Evaporação e umidade do ar no manguezal

LARCHER (1986) em seus estudos destacou que todos os habitats salinos têm, em comum, um conteúdo de sais superior ao normal, prontamente solúveis. Os oceanos, os lagos salgados e as lagoas salinas são habitats salinos aquáticos. Em terra, existem solos salinos tanto sob condições climáticas úmidas como áridas. Nas regiões com precipitação pesada, é possível ao solo tornar-se salgado na região de borrifos na zona de maré, sobre as dunas e nos pântanos. A salinidade do solo é bastante aumentada nas áreas secas, se a evaporação do solo for maior do que a quantidade de precipitação nele infiltrada no curso de um ano. Quantidades particularmente grandes de sal se acumulam perto dos oceanos, na região dos manguezais.

Apenas em oceano aberto permanece constante o conteúdo de sal. Mesmo na zona de marés a salinidade varia amplamente. Nos habitats salinos terrestres, os sais transportados com facilidade movimentam-se continuamente para cima e para baixo, à medida em que a água se move no solo. Durante a estação de crescimento, os sais se acumulam constantemente no interior da cobertura vegetal, como resíduos da evaporação. Depois que as partes da planta morrem e se destacam, eles são lavados e devolvidos ao solo. A resistência ao sal é a habilidade de uma planta para eliminar o excesso de sais, sem prejudicar seriamente a função vital.

O sistema de alerta das plantas ao excesso de calor é acionado através da regulação estomática da transpiração. O efeito refrescante da evapotranspiração pode ser notado por meio da taxa de transpiração, pois, à medida que a água é liberada, a quantidade de energia perdida é a mesma necessária para vaporizá-la. O refrescamento por evapotranspiração é particularmente eficaz quando a temperatura do ar é elevada, a umidade do ar baixa e as plantas estão bem supridas de água. Se a

evapotranspiração é acelerada pelo vento, ela extrai tanto calor que as folhas podem tornar-se bem mais frias que o ar.

A energia necessária para suprir o processo de evaporação é fornecida pela radiação e por processos de condução e convecção de calor da camada de ar adjacente. Portanto, envolve transferência de energia na superfície evaporante, difusão molecular na camada de ar supra-adjacente e a difusão turbulenta do vapor gerado. Nestas condições a evaporação é um processo que depende de vários fatores, entre os quais pode-se citar: as temperaturas da água e do ar, o gradiente de pressão de vapor, a densidade do ar e os ventos. Assim, a evaporação ocorre quando há um gradiente de pressão de vapor entre a superfície evaporante e o ar, cujo gradiente é bastante sensível às variações de temperatura.

A evaporação em terras alagadas tropicais é um importante parâmetro ambiental que tem recebido pouca atenção tanto dos biólogos quanto dos físicos. A evaporação é essencial para a produção de salinidades muito elevadas encontradas em muitos estuários tropicais e para as vastas expansões de pântanos salgados de franjas de manguezal nos trópicos secos, como por exemplo no Oeste da África e na Austrália. A região de Saloum no Senegal bem como o Golfo da Carpentaria na Austrália representam áreas salinas improdutivas previamente colonizadas por manguezal. No Norte da Austrália, a entrada de água doce nos estuários é limitada por alguns meses na estação chuvosa. Durante a estação seca a evaporação incrementa a salinidade da água estuarina, em alguns casos atingindo excessos dos valores padrões da água do mar (WOLANSKI, 1986).

Entre os vários métodos de medida das taxas de evaporação no campo, o mais simples é aquele do tanque de evaporação, que consiste de um tanque cheio de água, a qual está constantemente sendo evaporada. Este método, entretanto, não pode ser usado sobre o solo pois uma superfície livre de água geralmente teria taxas bem maiores de evaporação do que o solo, particularmente o solo seco.

O método aerodinâmico (ARYA, 1988) envolve medidas dos perfis de vento e umidade a poucos metros acima da superfície de pântano salgado. O método fundamenta-se na admissão de que uma camada padrão bem desenvolvida está presente. Para pântanos salgados, há grandes extensões ininterruptas de muitas

centenas de metros onde a escala de rugosidade, z_0, é de apenas poucos milímetros e assim, o método aerodinâmico é bem aplicado.

HOLLINS & RIDD (1993) descrevem medidas micrometeorológicas realizadas sobre um período de três meses as quais foram subseqüentemente usadas para determinar as taxas de evaporação sobre um pântano salgado próximo a Townsville, Austrália. O período de três meses (e longo) pôde ser essencialmente dividido em duas componentes, tempo em que o pântano salgado está molhado ou úmido, e tempo em que a superfície está seca. Conseqüentemente, apenas dois dias de dados foram apresentados, e são representativos destas duas condições. Através de medidas de temperatura, velocidade do vento e umidade numa altura de 6 m da superfície, através do método aerodinâmico, nos períodos diários de inundação de maré ou chuva, o pântano salgado esteve úmido e as taxas de evaporação de aproximadamente 5.10^{-3} m dia^{-1} prevaleceram. Após 8 dias da inundação de maré e com ausência de chuva, as taxas de evaporação tinham caído para menos que 2.10^{-3} m dia^{-1}. A taxa mensal de evaporação foi de aproximadamente 7.10^{-2}m. Isto gera alta salinidade que, juntamente com temperaturas da superfície excedendo 50°C, evita a colonização do manguezal nestas áreas.

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 Balanço de energia na superfície

A partição da energia entre a superfície do dossel do mangue e a atmosfera envolve fluxos de energia latente e sensível, que variam conforme a disposição e arquitetura do dossel, o qual absorve quantidades variadas de energia solar. O balanço de energia é uma aplicação do princípio da conservação de energia o qual significa um balanço dos fluxos de entrada e saída de energia num volume de controle, representado pela camada de ar acima da superfície ocupada pela vegetação, em nosso caso, a coluna de ar abaixo do nível de medições do saldo de radiação.

Na presença de advecção (transporte horizontal de calor sensível pelo ar), a equação do balanço de energia pode ser expressa por:

$$R_n + A = H + LE + S + F + \Delta V \qquad (1)$$

onde as fontes de energia são representadas pela soma da energia líquida disponível ou saldo de radiação R_n e a energia proveniente da advecção A; H é o fluxo de calor sensível e LE é o fluxo de calor latente (sendo L o calor latente de evaporação e E a taxa de evaporação). S é o fluxo de calor no solo, F é a energia usada para outros processos, tais como, a energia fixada pela fotossíntese e demais processos metabólicos nas folhas e ΔV é a variação no armazenamento de energia (calor sensível e latente) na biomassa e na coluna de ar abaixo do nível de medição do saldo de radiação, sendo todos os fluxos expressos em W m^{-2}.

Considera-se que F é, em geral, da ordem de 1% a 2% do saldo de radiação podendo ser desprezado e que ΔV também pode ser desprezado, pois somente é

significativo para períodos de transição no fornecimento de energia solar à superfície vegetada, ou seja, durante o nascer ou pôr-do-Sol, além da complexidade para sua determinação. Para a Floresta Amazônica, de acordo com SHUTTLEWORTH et al. (1984) e SANTOS ALVALÁ (1993), S foi considerado muito pequeno, quando comparado com os demais fluxos, a ponto de ser desprezado. Para o manguezal, devido à carência de informações a este respeito, optamos por estimar o fluxo de calor no solo, então, os fluxos de calor no manguezal ou outro tipo de vegetação de suficiente extensão horizontal ou na ausência de advecção, geralmente satisfazem a equação do balanço de energia, *eq.(1)*, que simplificada pode ser expressa da seguinte forma:

$$R_n = H + LE + S \qquad (2)$$

onde, os fluxos de energia no sentido da camada em estudo são considerados positivos e aqueles para fora dela são negativos.

3.2 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, como por exemplo os manguezais, 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 estas superfícies e a atmosfera.

O balanço de radiação da superfície de um dossel pode ser dado pela soma algébrica do balanço de radiação 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:

$$R_n = (R_g - R_r) + (R_a - R_s) \tag{3}$$

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:

$$S_n = R_g(1-\alpha) \tag{4}$$

Por definição, o albedo é dado pela equação

$$\alpha = \frac{R_r}{R_g} \tag{5}$$

Naturalmente, o manguezal tem a capacidade de reter mais radiação, apresentando menores albedos, em comparação com áreas desmatadas ou vegetações de pequeno porte, com variação média de 0,14 (HERZ, 1988a).

A componente de ondas longas emitida pela superfície é governada pela temperatura da superfície foliar do dossel do manguezal, T_f, expressa de acordo com FEDERER (1968):

$$R_s = \varepsilon_f \sigma T_f^4 + (1 - \varepsilon_f) R_a \qquad (6)$$

onde, ε_f é a emissividade da superfície e σ é a constante de Stefan-Boltzmann, representada por $\sigma = 5{,}67 \,.\, 10^{-8}$ W m^{-2} K^{-4}.

A emissividade apresenta uma variação entre 0 e 1, variando para as florestas naturais entre 0,95 e 0,98, segundo VISWANADHAM et al. (1990). Para finalidades práticas, considera-se $\varepsilon_s = 1$, assim, a *eq.(6)* torna-se

$$R_s = \sigma T_f^4 \qquad (7)$$

Substituindo-se as *eqs. (4)* e *(7)* na *eq.(3)*, nós obtemos a função da superfície nas trocas radiativas, reescrevendo-se a *eq.(3)* da seguinte forma:

$$R_n = R_g (1 - \alpha) + R_a - \sigma T_f^4 \qquad (8)$$

Na *eq. (8)* a contribuição da radiação emitida pela atmosfera (em ondas longas) pode ser estimada através de um método simples dado por

$$R_a = \varepsilon_a \sigma T_a^4 \qquad (9)$$

em que, T_a é a temperatura do ar próximo à superfície (cerca de 1,5 m acima da superfície) e ε_a é a emissividade atmosférica sob céu claro.

Para simplificar e adequar as condições apresentadas na *eq. (8)*, BRUTSAERT (1975) deduziu uma expressão empírica com base física, a partir da equação de transferência radiativa em uma atmosfera plana estratificada, introduzindo o efeito da umidade, através da pressão do vapor d'água, considerando condições de céu claro, obtendo:

$$\varepsilon_a = 1{,}24\left(\frac{e}{T_a}\right)^{\frac{1}{7}} \qquad (10)$$

sendo T_a dada em Kelvin (K). A pressão que o vapor d'água exerce na atmosfera, e, em hPa, foi determinada por meio da seguinte equação:

$$e = \frac{UR\, e_s}{100} \qquad (11)$$

em que UR é a umidade relativa do ar em (%), obtida a partir dos dados de temperatura do bulbo seco e do bulbo úmido; e_s é a pressão de saturação do vapor d'água em hPa, calculada a partir da temperatura do ar em °C, usando a equação de Tetens (NORMAN, 1979), ou seja:

$$e_s = 6{,}1078.10^{\frac{(7{,}5T_a)}{(T_a+237{,}3)}} \qquad (12)$$

Deste modo o saldo de radiação fica dependendo das duas componentes em direção à superfície, do albedo e da temperatura da superfície do dossel. Assumindo-se que as componentes em direção à superfície são espacialmente constantes, então qualquer variação espacial do saldo de radiação é devido à variação espacial do albedo ou da temperatura da superfície, ou de ambos. A componente R_a é função básica da temperatura do ar, da quantidade de vapor d'água presente na atmosfera e da nebulosidade. Já o termo $\sigma\, T_f^4$ depende da temperatura da superfície e da sua emissividade.

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.

O dossel do manguezal e a atmosfera interagem dinamicamente através de processos físicos que promovem um transporte de energia e massa. Portanto, todas as informações relacionadas à partição da energia radiante sobre o manguezal são fundamentais para o entendimento destes processos que controlam o microclima do manguezal.

3.3 Fluxo de calor sensível

As trocas de calor sensível entre o dossel do manguezal e a atmosfera são determinadas pelas condições de estabilidade da camada limite atmosférica e pelas propriedades da superfície. Assim, a determinação do transporte de calor sensível entre o dossel global e um nível de referência é feita através do método das resistências, conforme a equação:

$$H=\rho c_p\left(\frac{T_f-T_a}{r_a}\right) \qquad (13)$$

onde, ρ é a massa específica do ar seco a 1 atm (1,29 kg m^{-3}), c_p é o calor específico do ar a pressão constante (1,00 10^3 J kg^{-1} K^{-1}), à 20°C, e r_a é a resistência aerodinâmica global (s m^{-1}), isto é, a resistência atmosférica ao transporte de vapor d'água e de calor entre a altura de rugosidade e o nível de referência dentro da camada atmosférica. A *eq.(13)* mostra que o fluxo de calor sensível é diretamente proporcional ao gradiente de temperatura e inversamente proporcional à resistência imposta pelo ar ao transporte dessa propriedade. De acordo com NICHOLS (1992) e SANTOS ALVALÁ (1993), r_a pode ser parametrizada como:

$$r_a=\frac{r_b}{2IAF} \qquad (14)$$

onde IAF é o índice de área foliar e r_b a resistência média da camada limite por unidade de área de vegetação em s m^{-1}, expressa por:

$$r_b = \left(\frac{a}{n'}\right)\frac{\left(\frac{D}{u}\right)^{\frac{1}{2}}}{1-\exp\left(\frac{-n'}{2}\right)} \qquad (15)$$

sendo a = 100 s$^{1/2}$ m^{-1}, n' o coeficiente de atenuação para a velocidade do vento (adimensional), D a largura característica das folhas (m) e u a velocidade do vento na altura do topo do dossel em m s^{-1} (NICHOLS, 1992).

3.4 Fluxo de calor latente

O transporte de calor latente entre a vegetação e a atmosfera ocorre quando há uma diferença na concentração de vapor d'água entre estas. Para o caso do fluxo de calor latente (transporte de vapor d'água) para a atmosfera proveniente de superfícies vegetadas, a fonte de vapor d'água no processo de transpiração é a cavidade subestomatal das folhas, onde o ar está saturado, exceto se houver deficiência hídrica, causando dissecamento da planta. Neste caso, o vapor d'água deve, primeiro, difundir-se através da abertura estomatal para, em seguida, ser difundido no ar. Assim, uma nova resistência surge à passagem do vapor d'água para a atmosfera, imposta pelos estômatos e pela cutícula das folhas, chamada resistência estomática, r_s (s m^{-1}), a qual é a resistência imposta pela superfície à livre difusão do vapor d'água, ao transportar-se através dos estômatos das plantas. Portanto, na estimativa da evapotranspiração, deve-se levar em conta a resistência estomática das folhas extrapolada para a vegetação como um todo e, então, o método das resistências para a estimativa das perdas de água de uma vegetação para a atmosfera, apresenta uma relação similar àquela para o calor sensível sendo que os únicos

obstáculos ao fluxo são a resistência aerodinâmica, r_a, e a resistência estomática, r_s. Assim, o fluxo de calor latente pode ser expresso como:

$$LE = \rho_a \left(\frac{L\varepsilon}{P} \right) \left(\frac{e_{s(T_f)} - e}{r_a + r_s} \right) \qquad (16)$$

onde $\varepsilon = M_w/M_a = 0{,}622$, sendo M_w o peso molecular da água ($M_w = 18$ g mol^{-1}), M_a o peso molecular do ar ($M_a = 29$ g mol^{-1}), P é a pressão atmosférica em hPa, L é o calor latente de evaporação (2,43 106 J kg^{-1}), $e_{s(Tf)}$ é a pressão de saturação do vapor em hPa à temperatura T_f, sendo e a pressão de vapor em hPa na altura considerada. Introduzindo-se a constante psicrométrica, $\gamma = P\, c_p / \varepsilon\, L$, em hPa K^{-1}, pode-se escrever $L\, \varepsilon / P = c_p / \gamma$, e assim a *eq.(16)* torna-se

$$LE = \rho_a \left(\frac{c_p}{\gamma} \right) \left(\frac{e_{s(T_f)} - e}{r_a - r_s} \right) \qquad (17)$$

A resistência estomática é o mecanismo de controle fisiológico da transpiração, cujas variações causadas fisiologicamente resultam também das mudanças no comportamento da radiação solar, disponibilidade de água nas folhas, temperatura do ar, concentração de gás carbônico e déficit de umidade específica.

Para que as plantas transpirem a uma taxa potencial (ou seja, o máximo que poderiam transpirar a uma dada temperatura e pressão), é necessário que não haja nenhuma resistência ao fluxo de água do solo para a atmosfera. Isto quase nunca acontece, já que o fluxo de água do interior das partes aéreas das plantas para o ar ocorre através dos estômatos, os quais abrem ou fecham em função das condições atmosféricas. Os estômatos controlam a transpiração através da resistência estomática, ou seja, a transpiração é uma função curvilínea da resistência estomática ou linear da condutância estomática. Assim, para a parametrização da superfície continental em modelos meteorológicos é necessário que se combinem as relações entre r_s e fatores governantes de um modo determinístico.

DICKINSON (1984) definiu r_s considerando apenas a influência da radiação fotossinteticamente ativa e assumindo-a como sendo 55% da radiação solar, obtendo

$$r_s = r_{s_{min}} F_{Rg} \tag{18}$$

em que r_{smin} é a resistência estomática mínima (s m^{-1}) e F_{Rg} é a função que representa a influência da radiação solar na resistência estomática, dada por

$$F_{R_g} = \frac{1 + 0{,}55 R_g}{\left(\frac{r_{s_{min}}}{r_{s_{máx}}}\right) + 0{,}55 R_g} \tag{19}$$

sendo $r_{smáx}$ a resistência estomática máxima (s m^{-1}).

3.5 Fluxo de calor no solo

O transporte de calor no solo ocorre primariamente por condução molecular, com influências secundárias dos transportes por radiação e convecção. Assim, este transporte pode ser modelado como um fenômeno de condução de calor, cujo fluxo de calor no solo foi estimado tomando-se por base a lei de Fourier na equação:

$$G = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \cong \lambda \frac{T_s - T_l}{l} \tag{20}$$

onde λ é a condutibilidade térmica (W m^{-1} K^{-1}), T_s e T_l são as temperaturas do solo à superfície, s, e na profundidade l, respectivamente. Neste caso a equação acima é aplicada apenas para o escoamento de calor na vertical, considerando-se os valores de temperatura do solo a 2 cm (s) e 5 cm (l) de profundidade.

3.6 Déficit de umidade específica

A umidade específica do ar, q, tem utilização bastante difundida em estudos de meteorologia, definida como a relação entre a massa de vapor d'água e a massa de ar (m_{ar}). A massa de ar equivale a soma algébrica da massa de vapor d'água (m_v) com a massa de ar seco (m_d). Entende-se por ar seco, o conjunto de todos os componentes da atmosfera (nitrogênio, oxigênio, argônio, hélio, gás carbônico, etc...), exceto o vapor d'água. Assim, a umidade específica pode ser expressa por:

$$q = \frac{m_v}{m_{ar}} = \frac{m_v}{m_v + m_d} \qquad (21)$$

Utilizando-se a equação termodinâmica para gases ideais e realizando-se simplificações matemáticas, pode-se expressar a umidade específica em gramas de vapor d'água por quilogramas de ar, da seguinte forma:

$$q = \frac{622\ e}{P - 0{,}378\ e} \qquad (22)$$

onde a pressão do vapor d'água, e, e a pressão atmosférica P são dadas em hPa.

O déficit de umidade específica do ar, Δq, é o indicador e umidade que representa a disponibilidade ou carência de vapor d'água no ar, sendo de uso bastante difundido em meteorologia e determinado através da diferença algébrica entre a umidade específica de saturação, q_s, e a umidade específica atual, q. A umidade específica de saturação, significa as condições de umidade quando o ar atinge a saturação,sendo obtida, substituindo-se e por e_s, na *eq.(22)*. Assim,

$$\Delta q = q_s - q \qquad (23)$$

As equações apresentadas anteriormente serão utilizadas para a estimativa do balanço de energia no manguezal, ao nível do dossel das árvores. Também serão usadas para a determinação do déficit de umidade específica e o fluxo de calor no solo, tanto no manguezal quanto na área desmatada.

Os dados observacionais necessários para utilização nas respectivas equações foram obtidos de psicrômetros instalados em abrigos meteorológicos, em termohigrógrafos fixados na torre micrometeorológica em diferentes níveis de altura e através de diversos sensores para medições da radiação solar global, direção e velocidade do vento, precipitação pluvial, temperatura e umidade do ar medidos na estação meteorológica automática.

Especificamente, para a estimativa do balanço de energia foram utilizados dias sem ocorrência de precipitação e o procedimento adotado na coleta dos dados meteorológicos serão descritos, detalhadamente, no Capítulo 4.

4 ESTRUTURA EXPERIMENTAL E DADOS

A preocupação com os impactos decorrentes do desmatamento em grandes áreas florestais favoreceram a implantação de importantes projetos de pesquisa na Amazônia, visando o conhecimento da interação entre os dosséis vegetativos e os processos atmosféricos. Com respeito aos manguezais, o desconhecimento sobre suas características físicas e biológicas e suas respostas às conversões de mangues exuberantes em áreas desmatadas no litoral norte do Brasil, é ainda maior. Visando contribuir com o aprofundamento de estudos para estas finalidades, o programa MADAM tem como metas principais o fortalecimento da capacidade científica na região norte do Brasil e a formação de uma linha de pesquisa alemã nos trópicos voltada às questões práticas ambientais.

A facilidade de acesso e as condições logísticas na Microrregião Bragantina contribuíram com a escolha do manguezal de Bragança como base científica para a investigação dos parâmetros bióticos e abióticos neste ecossistema que se destaca no âmbito mundial como um dos mais exuberantes e desenvolvidos. Porém, a própria facilidade de acesso mostra um outro viés deste contexto que ao mesmo tempo favorece a pesquisa científica e torna o manguezal vulnerável às ações predatórias dos seres humanos.

Este trabalho apresenta os resultados do projeto EMMA, que tem como objetivos gerar uma base de dados micrometeorológicos sobre manguezais, até então inexistente na região litorânea do Pará, e comparar as alterações ocorridas nas condições micrometeorológicas em função do desmatamento. Para alcançar estes objetivos foi escolhido o manguezal localizado no município de Bragança-PA, o qual constitui-se num dos pólos de produção em crescente desenvolvimento, sendo o oitavo maior município do Estado do Pará, com uma população de 101039 habitantes distribuídos em uma área de 3116 km^2 e está localizado a nordeste do Estado do Pará,

distante 228 km da capital (Belém-PA). Para analisar o efeito do desmatamento no microclima do manguezal, foram escolhidas duas áreas experimentais, uma no manguezal em seu estado natural e outra numa área desmatada, as quais são mostradas na FIGURA 2.

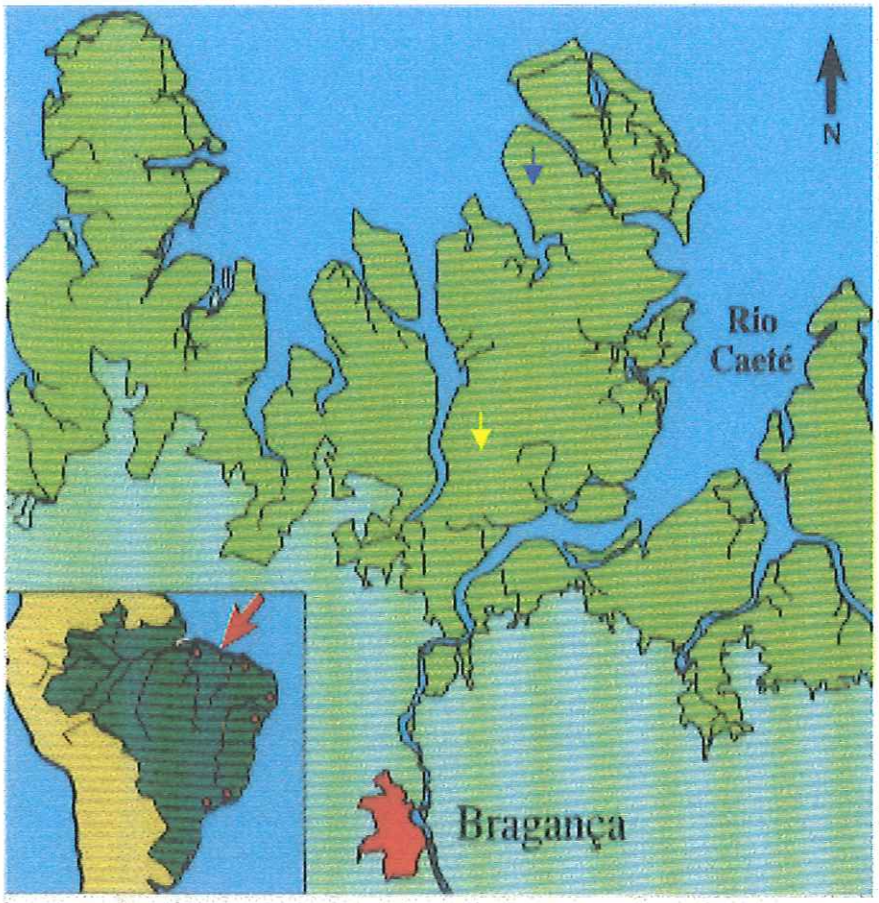


FIGURA 2 – Localização geográfica dos sítios experimentais no manguezal ↓ e na área desmatada ↓, no município de Bragança-PA. Convenção: 3 Km: ▬ .

4.1 Área de manguezal

O manguezal de Bragança fica a 150 km de distância da desembocadura sul do Rio Amazonas. Essa região entre a Costa e o Oceano Atlântico, prolonga-se em um total de 120 km^2, numa faixa de manguezal de até 20 km de largura. A característica

fisiográfica do manguezal enquadra-se no tipo Bacia, florestas que ocorrem em áreas internas, em depressões, com canais de drenagem de água terrestre para a Costa. O sítio experimental do manguezal localiza-se entre as coordenadas 00° 52' S de latitude e 46° 39' W de longitude, a cerca de 31 km de distância de Bragança, próxima ao Furo do Chato. Através do levantamento das espécies realizado por MARQUES DA SILVA et al. (1997), foi observada a presença predominante de *Rhizophora mangle, Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa*. Essas espécias são exclusivas de manguezais e no conjunto formam o tipo de vegetação denominada mangue.

Esta área foi escolhida por ser especialmente adequada à extensão espacial para trabalhos de campo e apresentar todas as características típicas de uma floresta de manguezal; o ecossistema está relativamente intacto, apesar da sua exploração econômica; há exuberância de espécies e a possibilidade de desenvolvimento de um modelo ecológico interativo, devido à intersdisciplinaridade envolvida; a região oferece grande potencial turístico, o que pode favorecer a progressão dos desmatamentos; o local oferece boas condições logísticas, como fácil acesso, proximidade do Campus Universitário da UFPA em Bragança (base de inserção ao banco de dados), estrutura comercial e de transporte, etc.

Na área experimental o manguezal (FIGURA 3) é do tipo exuberante, denso e alto, com altura média das árvores em torno de 20 m. Sob o ponto de vista estrutural a classificação do manguezal é do tipo arbóreo de dossel semi-fechado, sobre vaza de maré. Faz parte da franja interna do manguezal, de maior proximidade ao canal e troca mais freqüente das águas de inundação por efeitos de maré. A característica da produção foliar é de aumento na estação chuvosa com a redução da salinidade intersticial, favorecendo a formação de folhas novas e diminuindo a produção foliar de julho a novembro, na estação seca.

O substrato orgânico dessa comunidade vegetal é espesso com tonalidade cinza escuro e textura granular. O manguezal possui um aspecto quase plano, cuja superfície é revestida por altas concentrações de matéria orgânica particulada e decomposta, misturada a partículas sedimentares de origem mineral. As folhas liberadas pelas árvores revestem as formações superficiais de espessas camadas de

aparência escura e úmida, associadas aos componentes dissolvidos do tecido foliar decomposto. O manguezal está estabelecido em depósitos aluviais holocênicos com desenvolvimento de Gleissolos álicos salinos, ocorrendo descontinuadamente ao longo das margens dos furos, rios e igarapés do estuário, tanto na parte insular quanto na continental.

FIGURA 3 – Vista parcial da área experimental do manguezal de Bragança-PA.

Para a medição das variáveis micrometeorológicas necessárias para a caracterização do microclima do manguezal, foi erguida uma torre de 25 m de altura, no topo da qual foi instalada uma estação meteorológica automática (EMA) de fabricação da Didcot Instrument Company Ltd, Abingdon, Oxford. Os instrumentos de radiação solar foram montados no topo da torre micrometeorológica, sendo o conjunto composto por um solarímetro para medição da radiação solar global incidente, com sensibilidade instrumental de 9,56 $mVkW^{-1}m^{2}$ e calibrado com uma precisão de aproximadamente 5%. Para medição do saldo de radiação foi utilizado um saldo radiômetro, com sensibilidade de 1,19 $mVkW^{-1}m^{2}$, porém, devido a uma

ruptura na superfície da cúpula, grande parte dos dados foram inutilizados. Estes instrumentos foram instalados e nivelados na extremidade de uma haste metálica de 3,5 m de comprimento e orientados na direção aproximada de 30° Oeste e a 30° Leste do ponto cardeal Norte. A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foi medida diretamente na EMA, na forma de densidade de fluxo de fótons, a 5, 15 e 25 m de altura acima do solo, durante o mês de março.

Para a coleta de dados utilizou-se um sistema de aquisição de dados composto por um microcomputador com interfaces análogo-digitais. Através de sinais emitidos pelos instrumentos, por meio de cabos elétricos, as interfaces receberam os dados que foram interpretados pelo sistema de processamento do microcomputador a cada 20 segundos, sendo então armazenados em disquetes flexíveis, com valores médios de cada variável determinados em intervalos de 20 minutos. O sistema de aquisição de dados da EMA começou a operar no final de fevereiro de 1997 e foi encerrado em fevereiro de 1998.

As medidas de temperatura e umidade relativa no topo da torre foram obtidas na EMA, por meio de um sistema de psicrômetro (termômetros de bulbo seco e bulbo úmido) modelo DTS-5, com precisão de calibração de aproximadamente 0,1°C, fabricados pela Didcot Instrument Company Ltd. O termômetro de bulbo úmido mantêm-se umedecido por meio de uma cápsula de material poroso que é umedecida por um tubo conectado a um reservatório que freqüentemente é preenchido com água destilada. O sistema de psicrômetro possui três tubos cilíndricos concêntricos para proteção contra radiação solar e um dispositivo de ventilação que fornece ventos de até 5 m s^{-1} para renovar o ar em torno dos bulbos. Por diferença entre as medidas dos termômetros do bulbo seco e bulbo úmido e utilizando uma rotina computacional, o software determina a umidade relativa do ar.

A direção do vento foi medida numa altura de 27 m na EMA, junto com a velocidade do vento, a qual foi medida também a 22 m utilizando-se um anemômetro totalizador modelo Fuess. As medidas de velocidade do vento a 27 m foram feitas utilizando-se um anemômetro de três conchas em miniaturas, fixado na extremidade de um suporte metálico de 2 m de comprimento. Apresenta boa linearidade de

resposta para ventos acima de 1 m s^{-1} e possui uma velocidade de partida de aproximadamente 0,5 m s^{-1}.

Similarmente ao que acontece para os sensores de radiação solar, o microcomputador recebe e armazena os sinais emitidos pelos sensores e processa os valores médios de velocidade do vento, temperatura do ar e umidade relativa do ar, em intervalos de 20 minutos. A fonte de alimentação dos processadores é uma bateria solar com integridade para uma semana. Todas as medidas originais obtidas da EMA foram agrupadas em planilhas de saída em médias horárias.

Os dados dos perfis de temperatura do ar e déficit de umidade específica foram obtidos na campanha experimental no período de 13 a 17/05/97. Neste estudo, consideramos uma estratificação da camada que envolve as árvores, sendo composta por um estrato exterior, imediatamente acima do dossel (25 m a 20 m), receptor da energia solar incidente; um estrato superior (20 m a 10 m), onde a penetração da energia solar incidente é bastante absorvida e espalhada pela folhagem e começa a sofrer um declínio em função da maior concentração da área foliar; um estrato inferior (10 m a 2 m), onde a energia solar chega bastante interceptada, e um estrato superficial (2 m à superfície do solo), em que o ar está sofrendo diversos processos físicos de transferência com o solo. Foram utilizados para caracterizar os perfis termohigrométricos, termohigrógrafos modelo Fuess, instalados nos níveis de 2, 10 e 20 m de altura à partir da superfície. Os dados de temperatura e umidade do ar na altura de 25 m foram coletados na EMA. A temperatura foliar média horária no período de 17 a 20/06/97, foi medida por meio de um termômetro infravermelho de contato, do tipo Thermo-hunter 5140, com base em 20 amostragens, em um intervalo de 10 s entre cada amostragem e assim calculada a média entre as 20 leituras do termômetro, feitas no topo do dossel, em 20 amostras de folhas escolhidas aleatoriamente.

A estimativa do fluxo de calor no solo foi efetuada com base nas medidas horárias da temperatura do solo por meio de geotermômetros modelo Weksler, nos níveis de 2, 5, 10 e 20 cm de profundidade a partir da superfície, na campanha de 17 a 20/06/97, e nos níveis de 2, 5, 10, 20 e 30 cm, na campanha de 13 a 17/05/97. A

evaporação no tanque evaporimétrico ou tanque classe A foi medida no interior de uma planície de pântano salgado, numa franja do manguezal, próxima ao Furo Grande, cerca de 3 km distante da torre micrometeorológica, entre os meses de abril e maio de 1997. O tanque evaporimétrico consiste de um cilindro com 120,7 cm de diâmetro e 25 cm de profundidade, constituído de aço inoxidável, instalado sobre um estrado de madeira, elevado a 1,5 m de altura para evitar inundação por ocasião das marés cheias que alagam parte de área de pântano salgado. Para as medições do nível da água no tanque foi utilizado um micrômetro, o qual foi inserido num poço cilíndrico de ferro galvanizado, onde não ocorre perturbações na coluna de água, e assim, feita a leitura. As medições consistiram dos totais acumulados durante 9 semanas consecutivas, cujas leituras foram realizadas nos dias 7, 14, 21 e 28/04; 5, 12, 19, 26 e 31/05, às 9:00 h.

Para a determinação do balanço de energia, foram selecionados os dias 17, 18 e 19/06/97, período em que não ocorreu precipitação. Para comparação da temperatura do ar e déficit de umidade específica, com a área desmatada, foi utilizado um psicrômetro instalado na altura de 1,5 m da superfície, em um abrigo meteorológico padrão.

O índice de área foliar do dossel (IAF) e a resistência estomática foram obtidos de medições realizadas no período de 2 a 8/09/1999. O IAF dos mangues foi estimado com a utilização de um analisador de área foliar LAI-2000, em função da largura e comprimento de cada folha, cujas amostragens foram obtidas de duas árvores das espécies *Avicennia* e *Rhizophora*, dentro da área experimental, obtendo-se um IAF igual a 5. Os dados de resistência estomática máxima (r_{smax} = 650 s m^{-1}) e mínima ($r_{smín}$ = 100 s m^{-1}) foram obtidos para as espécies de mangue citadas acima, utilizando-se um porômetro. Através de análises da condutibilidade térmica do solo, o valor encontrado para o manguezal foi, λ = 0,25 W m^{-1} K^{-1}. O albedo médio estimado (α = 0,14) foi determinado através dos resultados apresentados por HERZ (1998b).

Os dados foram armazenados e submetidos a tratamento estatístico para análise e tratamento de consistência. Eventualmente foram detectadas falhas e imperfeições nas medidas de algumas variáveis, como foi o caso do saldo de radiação

que apresentou erros em função de uma ruptura da cúpula superior do sensor de radiação. Assim, foi necessário fazer estimativas desta variável, praticamente durante todo o período de operação da estação meteorológicas automática. As falhas nos dados de precipitação foram complementadas durante as campanhas experimentais e dos dados da estação meteorológica da rede do INMET em Tracuateua. A estação meteorológica automática utilizada no manguezal, com a respectiva instrumentação é apresentada na FIGURA 4.

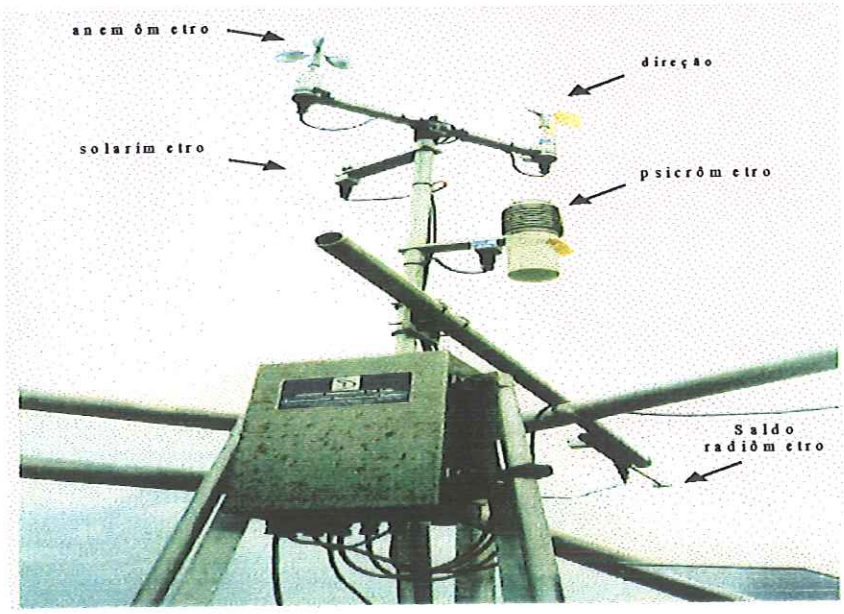


FIGURA 4 - Esquema da estação meteorológica automática instalada no topo da torre micrometeorológica no manguezal.

A torre micrometeorológica foi fixada a cerca de 200 m da estrada que liga Bragança a Ajuruteua, num local estratégico devido ao melhor acesso, cujo maior trajeto foi feito através de estivas, devido à instabilidade do substrato e das enchentes da maré. O solo no local escolhido é o que apresenta melhores condições de resistência, devido a altura da torre (25 m). Na torre, ilustrada na FIGURA 5, foram também realizadas as medições de perfis de temperatura e umidade, além dos perfis de radiação fotossinteticamente ativa.

FIGURA 5 – Torre micrometeorológica fixada no manguezal.

4.2 Área desmatada

O desmatamento de grandes áreas de manguezal do Brasil para exploração econômico e ocupação urbana tem aumentado consideravelmente. Este processo no manguezal de Bragança é bastante acentuado, com acesso facilitado pela estrada que atravessa o manguezal e liga a cidade de Bragança à praia de Ajuruteua, balneário que atrai muitos turistas à região. Este efeito acelerado do desmatamento conduziu a uma investigação sobre as possíveis alterações de algumas variáveis meteorológicas decorrentes do desmatamento do manguezal, o qual já vem ocorrendo há mais de dez anos.

As áreas desmatadas dentro do manguezal são distribuídas em clareiras adjacentes à estrada que atravessa o manguezal. A clareira onde foi estabelecido o sítio experimental (FIGURA 6) ocupa uma área de aproximadamente 4 km^2, a 16 km de distância de Bragança, cujo sítio experimental situa-se entre as coordenadas 00° 56' S de latitude e 46° 42' W de longitude.

O solo na área desmatada é classificado como gleissolo salino, de tonalidade cor cinza escuro, cuja textura do substrato é menos espessa que no manguezal, apresentando modificações estruturais de caráter quase total, devido a exposição à incidência da radiação solar direta. Devido ao processo contínuo da camada superior, não há evidência de estruturação pedogênica, cujas propriedades físicas são condicionadas pelo material de origem e pelo processo de formação, o que lhes confere um caráter antropogênico.

Conforme a localização geográfica da Microrregião Bragantina, na zona sub-tropical, em função do clima do local, os solos sofrem intenso intemperismo químico em virtude das taxas elevadas de lixiviação e aquecimento da superfície, o que causa alterações superficiais em sua constituição.

De acordo com as condições termodinâmicas a hidrólise pode ser mais ou menos a base da neogênese dos constituintes secundários, de natureza e de composição diferentes . Isto pelo fato da sílica liberada do mineral primário reagir com o alumínio e formar sais básicos insolúveis (hidroxissilicatos aluminosos-argilas).

A mineralogia do substrato da área desmatada dos manguezais de Bragança, refletem a composição do material de origem, bem como os efeitos de pedogênese incipiente. A composição do solo contém basicamente argilominerais com estrutura 1:1 do tipo caolinita, além de quartzo, moscovita e halita.

Embora o solo das clareiras no manguezal de Bragança, apresentem um caráter de desestruturação, com áreas de aparente desertificação, ocorrem enchentes, por efeitos de marés, através dos canais de drenagem, especialmente no mês de março. Isto pode explicar o vagaroso processo de restabelecimento de algumas espécies vegetais, nas áreas de proximidade ao manguezal.

FIGURA 6 – Vista parcial do sítio experimental na área desmatada no manguezal de Bragança-PA.

Os dados micrometeorológicos foram obtidos de quatro campanhas experimentais do projeto EMMA, nos períodos de 13 a 17 de maio, 17 a 20 de junho, 25 a 27 de outubro e de 4 a 6 de dezembro de 1997. Nestas campanhas foram usados psicrômetros instalados em abrigos meteorológicos a 1,5 m de altura acima da superfície do solo, para determinação da temperatura do ar e umidade relativa. A partir destes dados foi calculado o déficit de umidade específica, de acordo com a *eq.(23)*.

Para a coleta dos dados de precipitação foram usados pluviômetros instalados ao nível dos abrigos meteorológicos. Para a medição das temperaturas do solo foram utilizados geotermômetros instalados nas profundidades de 2, 5, 10 e 20 cm abaixo do solo. As leituras de temperatura foram feitas em intervalos horários e o fluxo de calor

no solo foi estimado por meio da *eq.(20)*, considerando-se o valor da condutibilidade térmica, $\lambda = 0{,}7\ W\ m^{-1}\ K^{-1}$, para a área desmatada.

4.3 Climatologia da região

4.3.1 Climatologia dinâmica

A característica da circulação geral da atmosfera sobre a Região Norte apresenta, no setor oriental, ventos de Nordeste e Leste, que sopram periodicamente, provenientes dos anticiclones subtropicais semi-permanentes sobre o Oceano Atlântico Sul e Atlântico Norte. O regime de precipitação é influenciado pelos deslocamentos da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre a região, das brisas marítimas, das Linhas de Instabilidade (LI), dos sistemas frontais oriundos do quadrante sul da América do Sul, e da imensa fonte de vapor d'água atmosférico, representada pela Bacia Amazônica. Mais recentemente tem-se pesquisado a influência do fenômeno El Niño na distribuição da precipitação no mundo todo. Com atenção especial à Região Amazônica, têm-se notado uma redução nas taxas de precipitação.

A ZCIT é formada pela confluência dos ventos alísios dos anticiclones semipermanentes do Atlântico Sul e Atlântico Norte. É caracterizada por um cinturão de nuvens cumuliformes que oscila ao longo do ano no sentido latitudinal, com posições extremas assimétricas em relação ao Equador geográfico. Em janeiro a ZCIT localiza-se entre 5°S e 8°N e no mês de jullho a sua variação é entre 2°N e 17°N. A ZCIT é considerada como o sistema atmosférico mais determinante no regime pluviométrico da estação chuvosa da Região Norte, devido a sua passagem ou permanência sobre a região.

As frentes polares surgem durante o inverno do Hemisfério Sul e causam perturbações nas condições atmosféricas. Tais frentes são oriundas da Região Polar (continente Antártico) e ao penetrarem no continente Sul-Americano, deslocam-se rumo às baixas latitudes, geralmente apresentando ventos de Sul e Sudeste. Durante o seu deslocamento, os anticiclones polares vem sofrendo alterações nas características

de sua massa de ar, quanto à temperatura e umidade. Originalmente seca, fria e estável, a massa de ar em contato com a superfície mais quente e úmida dos trópicos, adquire absorção de calor e umidade no oceano, aumentando este aquecimento à medida que penetra na Região Equatorial, de modo que o ar polar marítimo torna-se intstável. Ao adentrar na Região Norte do Brasil, a superfície frontal muda sua orientação para Noroeste-Sudeste, acompanhada de ventos do quadrante Sul, provocando precipitação intensas e queda de temperatura.

As LI são pequenas depressões barométricas associadas às ondulações frontais, com formações de nuvens cumuliformes que se deslocam ao longos destas, gerando precipitações localizadas e intensas. No Brasil, o deslocamento destas LI ocorre no sentido de Oeste para Leste e na Amazônia, formam-se, principalmente no setor Ocidental, quando, após formadas, deslocam-se para o Sudeste, até a Amazônia Central.

O El Niño é um fenômeno recorrente, quasi-periódico, associado com uma reversão da pressão barométrica entre o Pacífico Ttropical Oeste e Leste, conhecida como Oscilação Sul. Normalmente, as águas da Costa Oeste da América do Sul são frias, devido a influência da corrente marítima de Humboldt, que traz as águas frias das regiões polares para as regiões sul equatorianas. Alguns graus de latitude, antes de atingir o equador, essa corrente inflete para o Oeste e dirige-se para as costas da Austrália e das Ilhas Salomão. O aquecimento anômalo das águas do Pacífico influencia de modo bastante evidente as condições de temperatura e umidade das massas de ar que afetam o clima do continente Sul Americano. Há a formação de massas de ar com maior acúmulo de energia e umidade, que acabam bloqueando outras massas de ar, originando extensas zonas frontais com amplas faixas de instabilidade, Os reflexos mais nítidos no território brasileiro são a ocorrência de pesadas e abundantes chuvas na Região Sul, secas prolongadas no Nordeste e faixas de seca na Amazônia. Normalmente a massa de ar úmido que penetra nos continentes, proveniente do oceano tende a precipitar e depois tornar-se seca. Então, em quase todas as regiões do mundo, o que se vê é que a costa é muito úmida e o interior é seco. Na Amazônia, a costa é úmida, depois passa-se por uma região de mínimo de chuvas, mas volta-se a ter uma região de máximo, tão grande quanto a da costa. A

EESC-USP Biblioteca CAMPUS DE S. CARLOS

única explicação para isso é que a floresta fornece o vapor d'água necessário, mas são as frentes frias que convertem este vapor em chuva. Assim, quando essas frentes são bloqueadas sobre o Sul do País, é evidente que vai diminuir a precipitação na Amazônia, no entanto, devido à abundância de água, não sente-se tanto o efeito do El Niño sobre a região.

4.3.2 Série climatológica

A fonte dos dados climatológicos para a região de Bragança é a estação meteorológica da rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no município de Tracuateua. Esta pequena localidade tipicamente rural, dista, aproximadamente, 37 km da área experimental do manguezal. Apesar da distância, constitui-se na única fonte de informações climatológicas mais próxima, considerando-se como satisfatória para caracterizar o clima da região.

Os dados históricos fazem parte de um acervo de uma série climatológica de 18 anos de dados, no período de 1973 a 1990. Não foi possível estender-se a série climatológica de Tracuateua até o ano de 1997, devido a problemas operacionais e à indisponibilidade dos dados no INMET.

As médias climatológicas da temperatura do ar para a região, mostradas na FIGURA 7, apresentam uma pequena variação anual, com as máximas oscilando entre 29,8°C e 32,8°C, as médias entre 25,1°C e 26,5°C e as mínimas entre 20,4°C e 22°C. Esta pequena amplitude térmica anual deve-se ao fato da pequena variação na inclinação dos raios solares durante todo o ano. Porém, amplitudes térmicas mais dilatadas, foram percebidas durante o dia, principalmente na estação menos chuvosa, que se estende de junho a dezembro, sendo tais amplitudes, ocasionalmente, superiores a 10°C.

Apesar da certa estabilidade na oscilação da temperatura do ar, observa-se uma declinação da temperatura máxima no mês de março, que está associada com o mais elevado índice de precipitação anual, que ocorre neste mês, conforme será visto a seguir.

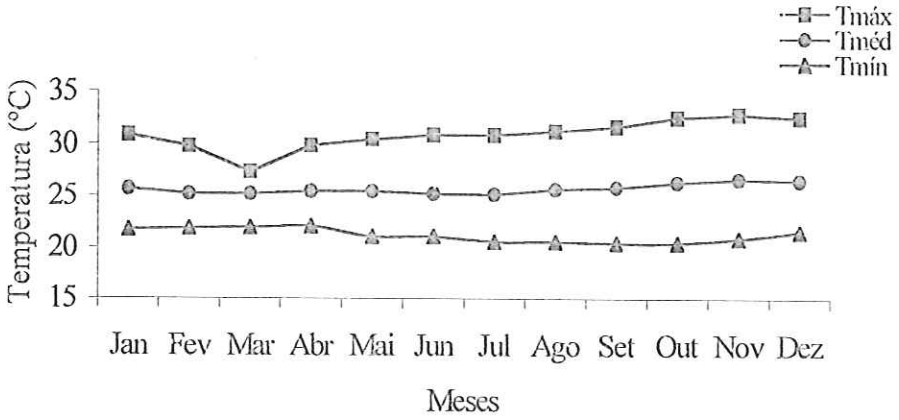


FIGURA 7 – Descrição climatológica da temperatura do ar, máxima (Tmáx), média (Tméd) e mínima (Tmín), para a região de Bragança-PA, no período de 1973 a 1990.

A FIGURA 8 engloba as variações sazonais da precipitação, evaporação no tanque classe A e umidade relativa, da série climatológica de Tracuateua. Dentre os elementos meteorológicos usualmente estudados, o que apresenta maior variabilidade é a precipitação pluvial. Embora esta região se caracterize por ser uma das mais chuvosas do Brasil, com valores médios anuais da ordem de 2544,8 mm, certas anomalias podem ser verificadas de um ano para outro, como é o caso do fenômeno El Niño, que influencia na região, reduzindo a precipitação durante a estação chuvosa. Apesar de' tais variações, observa-se a existência de duas épocas de características distintas quanto à distribuição da precipitação pluvial, ou seja, uma estação chuvosa que vai de janeiro a junho, e outra estação seca, que vai de julho a dezembro. Tal distribuição deve-se, principalmente, ao deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre a região.

Os valores médios de umidade relativa do ar apresentam-se sempre elevados durante todo o ano, variando entre 77% e 91%. De forma análoga à temperatura do ar, sua amplitude diária pode apresentar valores elevados, principalmente na estação menos chuvosa daquela região. Inversamente às variações sazonais de umidade relativa, ocorrem as variações da evaporação medida no tanque evaporimétrico classe

A, o que era esperado com valores máximos de evaporação ocorrendo na época em que os valores de umidade relativa são mínimos. Os elevados valores de radiação solar global disponíveis na região, especialmente entre os meses de setembro, outubro e novembro, proporcionaram altas taxas evaporativas que atingiram 115,1 mm no mês de novembro.

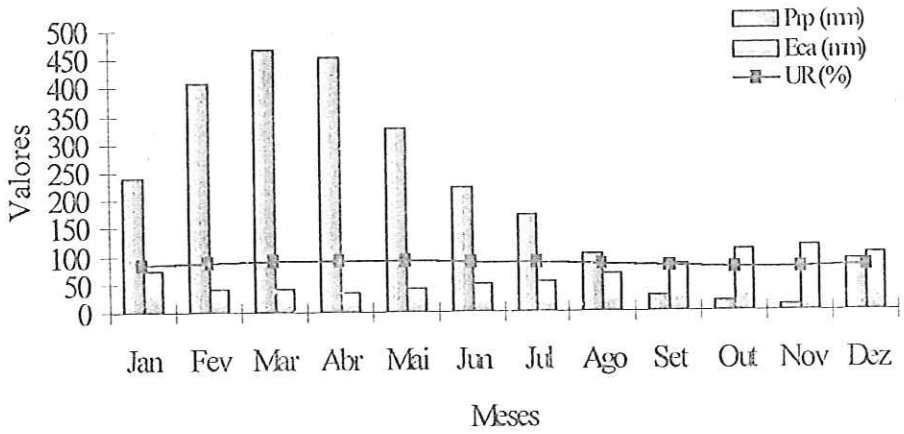


FIGURA 8 – Descrição climatológica da precipitação (Prp), evaporação do tanque classe A (Eca) e umidade relativa (UR), para a região de Bragança-PA, no período de 1973 a 1990.

Em estudos experimentais de perfilagem atmosférica da dispersão do vento, com balões pilotos, realizados no município de Tracuateua, observou-se que a velocidade média do vento na região é relativamente baixa, apresentando um valor médio anual, da ordem de 1,6 m s^{-1}. A direção predominante do vento na região é de Nordeste, com alterações para a direção Sudeste, quando ocorre a penetração de sistemas sinóticos.

Os meses menos chuvosos são aqueles que apresentam maiores valores de velocidade do vento, devido a maior disponibilidade de energia solar, que é força geradora das diferenças de pressão atmosférica, a qual é a fonte para os

deslocamentos de ar. Evidentemente, na parte litorânea os ventos são mais fortes, porém não foi realizado nenhum estudo desta natureza na Costa de Bragança.

Devido à grande disponibilidade hídrica associada com o enorme potencial energético da região, a nebulosidade apresenta-se elevada durante todo o ano, sendo máxima durante a estação chuvosa (FIGURA 9). Nos meses menos chuvosos a nebulosidade é de caráter predominantemente convectivo, o que possibilita a ocorrência de precipitação nas primeiras horas da tarde. Os valores de brilho solar mensal são sempre superiores a 47% do brilho total possível, na estação menos chuvosa e 28% na estação chuvosa, apresentando um valor médio anual de 2143,8 horas. A maior intensidade de brilho solar ocorre no período de agosto a novembro, representando, em média, cerca de 66,5% do total possível.

Com base na série climatológica de Tracuateua, a classificação climática segundo THORNTHWAITE & MATHER (1955), caracteriza o clima da região do tipo *AwA'a'*, ou seja, clima muito úmido, megatérmico, com deficiência de água moderada no período de agosto a dezembro, com total anual de evapotranspiração equivalente a 1.449 mm e concentração de evapotranspiração potencial nos três meses mais quentes (outubro, novembro e dezembro) igual a 28%.

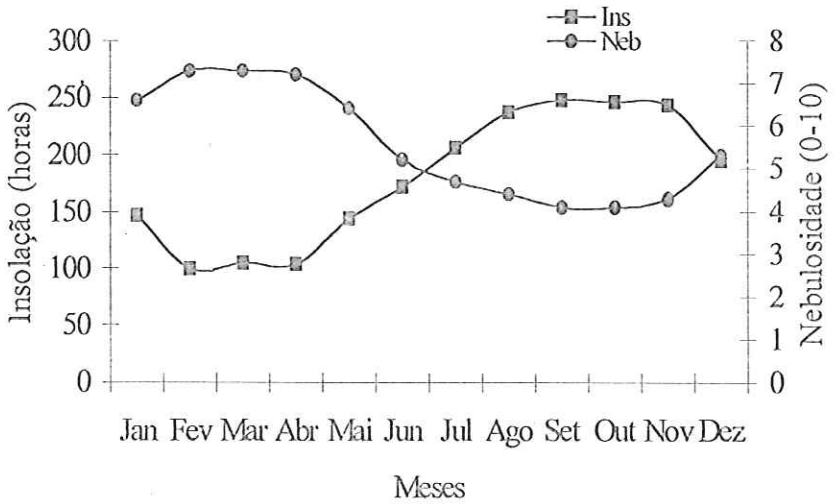


FIGURA 9 – Descrição climatológica da insolação (Ins) e nebulosidade (Neb), para a região de Bragança-PA, no período de 1973 a 1990.

O balanço hídrico para a região de Bragança é mostrado na TABELA 1, onde observa-se que ocorrem mais excessos do que deficiências de água no solo. Ficam bem caracterizadas as estações chuvosa e seca na região e as poucas variações no âmbito da temperatura do ar. Como era de se esperar as maiores taxas de evapotranspiração concordam com as menores ocorrências de precipitação.

O manguezal é muito importante na manutenção do balanço hídrico da região, introduzindo na atmosfera uma quantidade considerável de vapor d'água através da evapotranspiração. Deste modo, a destruição intensiva do manguezal pode causar sérios danos ecológicos, com importantes modificações na interação água-solo-planta-atmosfera.

SCHAEFFER-NOVELLI (1995), ressaltou que certas espécies de árvores do manguezal, desapareceram em litorais que apresentaram 16°C de temperatura média, nos meses de janeiro e julho. O manguezal, portanto, é um ecossistema tipicamente tropical., devido às condições climáticas da região, especialmente em termos da distribuição de temperatura e precipitação, cujas condições ideais para seu desenvolvimento, são:

- Temperaturas médias acima de 20°C. Em Bragança todas as temperaturas médias mensais são superiores a 25°C, com 25,7°C de média anual;
- Temperaturas mínimas não inferiores a 15°C. Todas as temperaturas mínimas mensais em Bragança são maiores que 20°C, com 21,1°C de média anual;
- Precipitação pluvial acima de 1500 mm por ano, sem estiagens prolongadas. A precipitação anual de Bragança é de 2544,8 mm por ano.

Apesar de SCHAEFFER-NOVELLI (1995) ter classificado a amplitude térmica anual abaixo de 5°C, como a ideal para o manguezal, na série climatológica para região de Bragança, todas as amplitudes térmicas mensais estão acima de 5,3°C, com 9,7°C na média anual. Isto nos permite sugerir que as amplitudes térmicas não sejam um fator primordial na manutenção do equilíbrio térmico do manguezal, pois, embora pareça paradoxal, as condições elevadas de temperatura média do ar é que parecem conduzir ao equilíbrio energético ideal para o

microclima do manguezal. Esta sugestão tem por base o desaparecimento do manguezal, em litorais que apresentaram 16°C de temperatura média do ar, nos meses de janeiro e julho, conforme citado anteriormente.

TABELA 1 - Médias mensais de temperatura do ar (Tar), precipitação pluvial (Prp), evapotranspiração potencial (Etp) e resultados do balanço hídrico (Bal. hídrico).

Meses	Tar (°C)	Prp (mm)	Etp (mm)	Bal. hídrico (mm)
Janeiro	25,7	239,3	127	+14,0
Fevereiro	25,2	407,8	105	+302,8
Março	25,2	467,8	116	+351,8
Abril	25,4	453,6	115	+338,6
Maio	25,4	328,1	118	+210,1
Junho	25,2	223,5	111	+112,5
Julho	25,1	173,1	114	+59,1
Agosto	25,6	101,2	119	-2,0
Setembro	25,8	28,6	121	-41,0
Outubro	26,3	19,2	131	-90,0
Novembro	26,6	11,7	135	-115,0
Dezembro	26,5	90,9	137	-45,0
Ano	**25,7**	**2544,8**	**1449**	----
				*+1388,9
				*-293,0

Notas: - Na coluna **"Bal. hídrico"**, os números precedidos do sinal (+) representam excedentes hídricos e os de sinal (-) deficiências hídricas.

-*Estes valores representam as somatórias dos excedentes hídricos e deficiências hídricas, respectivamente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Radiação solar global

O monitoramento da radiação solar global foi realizado durante o período de janeiro a novembro de 1997, com algumas falhas de dados devido a problemas instrumentais ocorridos nos meses de abril (ausência de dados entre os dias 2 e 20), maio (ausência de dados entre os dias 13 e 17) e agosto (não houve coleta de dados).

A FIGURA 10 apresenta os valores médios mensais dos picos de radiação solar global durante o ano de 1997, em que a seta em destaque indica a ausência total de dados no mês de agosto. Nota-se a grande disponibilidade de energia solar incidente no manguezal durante o ano todo, com valores mais elevados durante a estação seca. O valor máximo da radiação solar foi 950 W m^{-2} e ocorreu em outubro, com o mínimo em março (650 W m^{-2}). Este resultado relaciona-se com o maior valor acumulado de precipitação no mês de março, de acordo com a série climatológica, cujo adensamento da nebulosidade reduz a incidência da radiação solar global à superfície. A média de radiação solar incidente para todo o período foi de 805 W m^{-2}.

A Amazônia Oriental possui valores elevados de radiação solar global, durante o ano todo, cuja variação sazonal, além de determinar o comportamento do balanço de radiação, apresenta diferentes quantidades quanto a sua distribuição, associada com a turbidez na atmosfera, cobertura de nuvens, dentre outros fatores.

5.2 Radiação fotossinteticamente ativa

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) compreende o intervalo de comprimento de onda de 400 a 700 nm e foi medida diretamente na estação

meteorológica automática, em unidades de densidade de fluxo de fótons, em três níveis de altura acima da superfície do solo (25, 15 e 5 m), na torre micrometeorológica, durante seis dias, no período de 14 a 16/03/97 e de 19 a 21/03/97. Os resultados obtidos para o dia 21/03/97 são mostrados nas FIGURAS 11 e 12.

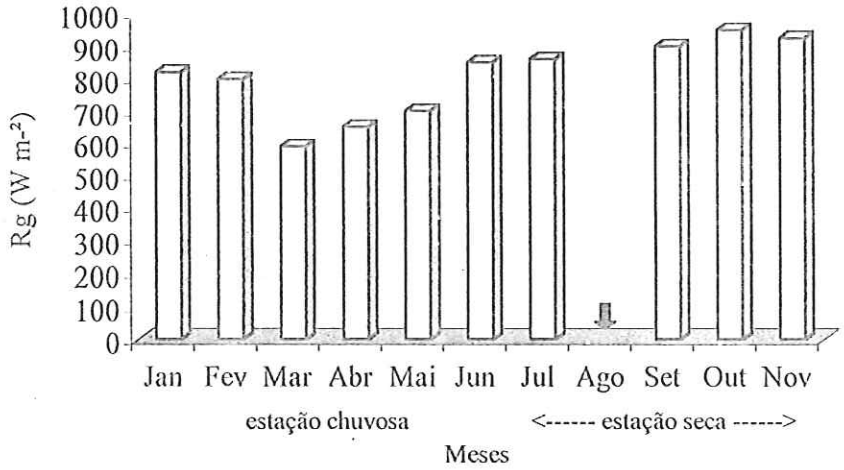


FIGURA 10 – Variação sazonal da radiação solar global medida acima da copa das árvores no manguezal, durante o ano de 1997.

A FIGURA 11 mostra a boa correlação entre as medidas de radiação solar global e RFA, sugerindo que os registros de radiação solar global poderiam ser utilizados para a estimativa de densidade de fluxo de fóton de RFA. A regressão linear entre estas variáveis apresentou um coeficiente de determinação, $r^2 = 0,95$, cujo fator de conversão da radiação solar global (W m^{-2}) em densidade de fluxo de fóton de RFA (mol fótons m^{-2} s^{-1}) foi 2,02. Durante todo o período de observações os valores de RFA a 25 m de altura variaram de 0 (ao nascer-do-Sol) até um máximo de 1656,2 mol m^{-2} s^{-1}, às 14:00 h, mesmo horário em que a radiação solar global atingiu o valor máximo de 775 W m^{-2}. O declínio nas curvas de RFA e Rg, entre 10:00 e 12:00 h, são Um reflexo do bloqueio momentâneo da radiação solar, devido ao maior adensamento de nuvens neste período.

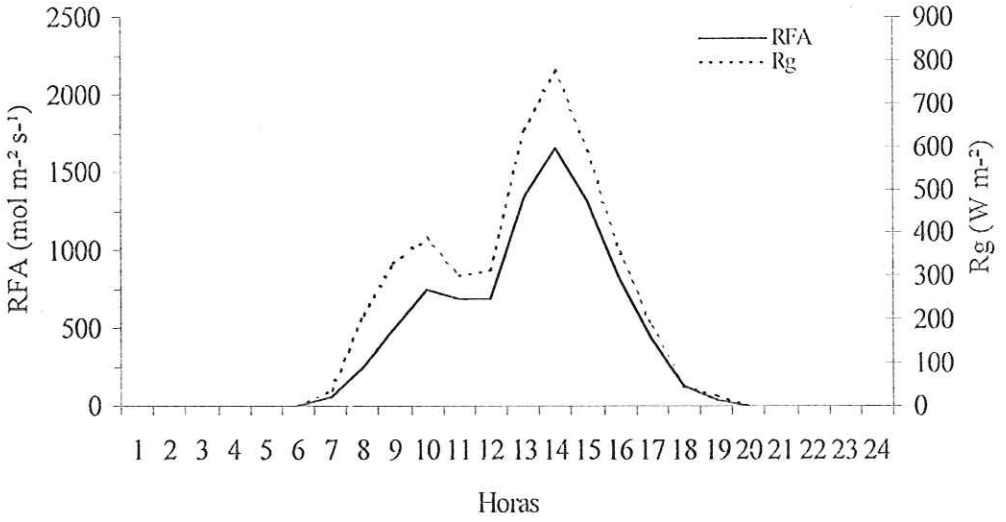


FIGURA 11 – Variação horária da radiação solar global e radiação fotossinteticamente ativa, em 21/03/97.

A atenuação da radiação fotossinteticamente ativa ao penetrar na profundidade do dossel é verificada na FIGURA 12, cujos registros mostram uma redução de 77% a 15 m (9 m abaixo do topo das árvores) e 94% a 5 m (17 m abaixo do topo das árvores), nos horários de maior insolação. Estes percentuais mantiveram-se durante os seis dias de medições, representando os efeitos de atenuação específicos do local de medição, fortemente influenciados por árvores da espécie *Aviccenia germinans*, a quais são de maior porte em comparação com as outras espécies de árvores do manguezal.

Observou-se o efeito da nebulosidade entre 10:00 e 12:00 h, o qual influenciou no comportamento da RFA na altura de 15 m e com menos intensidade a 5 m. No geral, as curvas de RFA apresentam tendências aproximadas em suas curvaturas. O efeito de atenuação devido a absorção da RFA através do dossel é bastante notado a 5 m, onde o valor máximo foi de 100 mol m^{-2} s^{-1} às 14:00 h,

enquanto a 15 e 20 m os valores máximos atingiram 375 e 1656,2 mol m^{-2} s^{-1}, respectivamente.

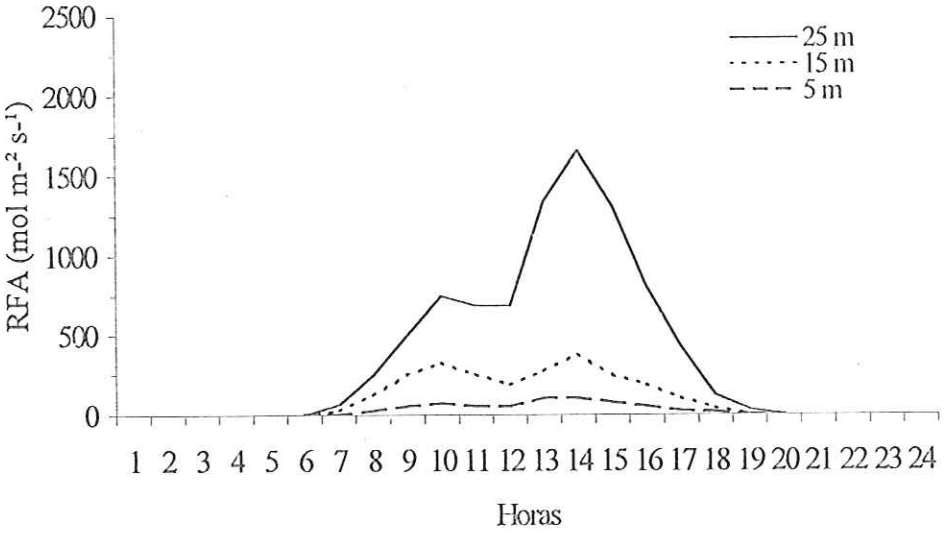


FIGURA 12 – Perfis horários da radiação fotossinteticamente ativa, nos níveis de altura de 5, 15 e 25 m de altura a partir da superfície do solo, em 21/03/97.

5.3 Simulação do balanço de energia

Os resultados das estimativas do saldo de radiação, fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível e suas relações com as variações da radiação solar global para os dias 17, 18 e 19/06/97 são apresentados na FIGURA 13. O fluxo de calor no solo não foi apresentado nesta análise por percebermos que este parâmetro representa uma parcela de contribuição muito pequena ao balanço de energia, em especial nesta escala de tempo adotada. Portanto, os valores do fluxo de calor no solo serão desprezados nesta análise, mas discutidos separadamente no item 5.6.

As flutuações do saldo de radiação e da radiação solar global apresentam-se em fase e são percebidas nos horários de início de formação das primeiras nuvens cumulus, as quais atingem um adensamento máximo em torno de 10:00 e 11:00 h,

para então começarem a dissipar-se, ressaltando que no período em estudo não houve ocorrência de precipitação. Este adensamento de nuvens causou uma redução na quantidade de radiação solar incidente, com destaque no dia 17/06/97.

As estimativas do saldo de radiação acompanham sistematicamente as variações dos valores medidos de radiação solar global, cuja média horária no dia 17 representou 76% da radiação solar global incidente no manguezal. A radiação solar incidente atingiu o pico às 12:00 h, com total de 908 W m^{-2} e saldo de radiação de 730 W m^{-2} no mesmo horário. Neste horário foram observados os valores máximos do saldo de radiação e da radiação solar, nos dias 18 e 19/06/97.

No dia 18/06/97 o saldo de radiação representou 78% da radiação solar global e no dia 19 foi equivalente a 79%. O efeito do adensamento da nebulosidade é notado às 10:00 h e 13:00 h no dia 18, e em menor proporção, entre os horários de 9:00 h e 10:00 h, quando a radiação solar variou pouco. Em todos os dias, entre 16:00 e 17:00 h houve uma atenuação nos gradientes de radiação solar e saldo de radiação, o que também pode ser efeito da nebulosidade, desta vez por aumentar a contribuição da radiação solar difusa sobre o manguezal.

O comportamento do balanço de radiação está diretamente associado às variações da latitude, altitude, declinação solar, turbidez atmosférica e, como foi percebido, é sensível às variações da nebulosidade. Notou-se que a presença da nebulosidade influencia o comportamento do balanço de radiação, por interceptar parte da radiação solar incidente e por direcionar os fluxos de radiação difusa para a superfície.

Durante a noite somente ocorre somente o balanço de radiação de ondas longas, daí, os valores negativos do saldo de radiação no período noturno até próximo ao amanhecer. No entanto, as perdas de radiação em ondas longas, não ultrapassaram a -41 W m^{-2}, observado às 19:00 h do dia 18.

O saldo de radiação significa uma parcela da energia solar que foi absorvida pela superfície e que está disponível para ser utilizada para diversos fins, como nos processos de evapotranspiração, aquecimento do ar e no processo de fotossíntese no manguezal. Esta partição pode ser avaliada a partir das flutuações das estimativas do

fluxo de calor latente e fluxo de calor sensível, cujos valores apresentam certa sensibilidade quanto às variações da radiação solar global e saldo de radiação.

No ciclo diurno, o fluxo de calor latente foi equivalente 69% do saldo de radiação no dia 17, 68% no dia 18 e 71% no dia 19, alcançando valores máximos de 536 W m^{-2} no dia 17, 510 W m^{-2} no dia 18 e 520 W m^{-2} no dia 19, no horário de 12:00 h. O fluxo de calor sensível representou 23% do saldo de radiação no dia 17, 24% no dia 18 e 25% no dia 19, com fluxos máximos de 220 W m^{-2} no dia 17, 230 W m^{-2} no dia 18 e 235 W m^{-2} no dia 19.

As estimativas do saldo de radiação apresentaram uma variação muito sistemática com a radiação solar global e valores possivelmente mais elevados do que poderia-se esperar dos valores medidos, podem ter ocorrido pelo fato de não ter-se incluído a nebulosidade no cálculo do balanço de radiação de ondas longas. Já nas estimativas dos fluxos de calor latente e sensível podem ocorrer erros na determinação da resistência aerodinâmica global, a qual é extremamente sensível às características morfológicas das plantas.

Na parametrização da resistência estomática, os erros podem ser decorrentes da não consideração de todos os processos biológicos e os fatores ambientais que controlam os mecanismos fisiológicos, tais como o potencial de água nas folhas e a concentração de gás carbônico. Estas respostas fisiológicas influenciam no comportamento do balanço de energia na superfície, o que mostra a importância de se melhorar os modelos para assimilar melhor estas respostas.

Na estimativa do balanço de energia foram estimadas e analisadas as partições de seus componentes, a partir do saldo de radiação, fluxo de calor latente e fluxo de calor sensível. É evidente que seria mais representativo e interessante, se para comparação, houvesse valores medidos destas variáveis. As estimativas, embora com base física, podem ter normalizado as variações dos componentes do balanço de energia. No entanto, estas limitações não prejudicaram em termos qualititativos e quantitativos os resultados, pois os mesmos foram, de certa forma, consistentes com outros trabalhos realizados na Amazônia, inclusive com a mesma metodologia apresentada por SANTOS ALAVALÁ (1993).

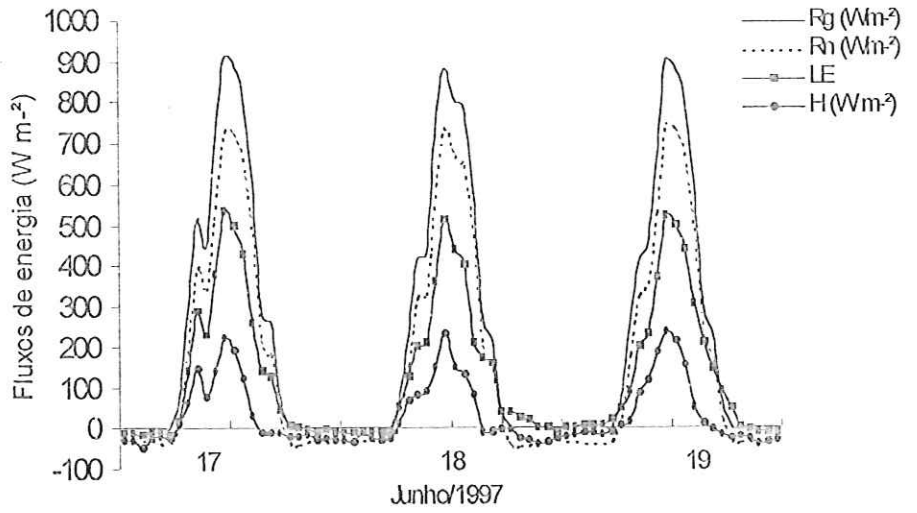


FIGURA 13 – Variação média horária da radiação solar global (R_g) e dos componentes do balanço de energia: saldo de radiação (R_n), fluxo de calor latente (LE) e fluxo de calor sensível (H), para os dias 17, 18 e 19/06/97.

A FIGURA 14 mostra a estimativa da partição dos componentes do balanço de energia no manguezal, relativo à energia solar recebida nos dias 17, 18 e 19/06/97. No ciclo médio diurno, o saldo de radiação representou 78% da radiação solar recebida, enquanto o fluxo de calor latente foi equivalente a 69% do saldo de radiação e o fluxo de calor sensível representou 24% do saldo de radiação. Os 7% restantes para completar o equilíbrio de energia foram utilizados para outros fins, como armazenamento na biomassa, fotossíntese, etc.

De acordo com os resultados acima, pode-se dizer que, 78% da energia solar que chega ao manguezal, fica disponível para a vegetação utilizar em seus processos bióticos e abióticos, ou seja, o manguezal armazena uma quantidade elevada da radiação solar incidente. Este fator implica em uma redução do albedo no manguezal, se comparado àquele em áreas desmatadas, onde, normalmente o saldo de radiação é menor. Desta quantidade de energia disponível (absorvida), 69% é utilizada para o processo de evapotranspiração, o que mostra a eficiência do manguezal como

regulador de umidade, mantendo taxas elevadas de evapotranspiração, durante o dia e a noite. A quantidade de energia que é armazenada no manguezal e liberada para o aquecimento do ar e manutenção do balanço térmico, equivale a 24% da radiação de ondas longas (térmica) absorvida na biomassa. É esta energia que faz com que o manguezal mantenha-se, satisfatoriamente mais aquecido no período noturno, em comparação com as áreas desmatadas, conforme será discutido no item 5.11.3.

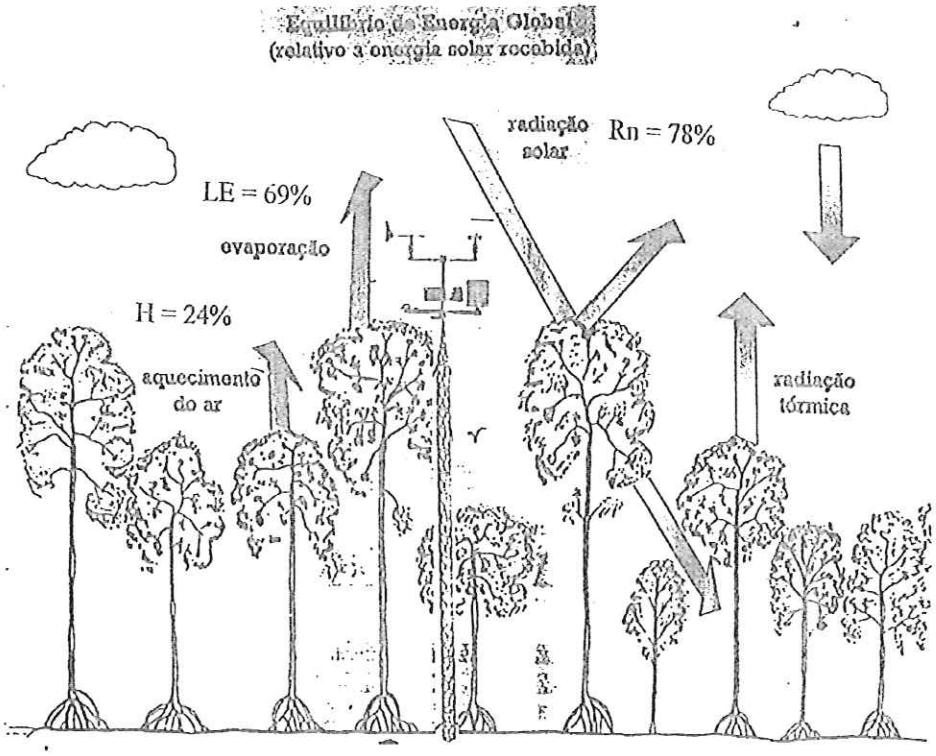


FIGURA 14 – Esquema dos componentes do balanço de energia no manguezal.

5.4 Regime de precipitação

A precipitação é sensivelmente uma das principais componentes do balanço hídrico, cuja quantidade que atinge a superfície terrestre é bastante influenciada pela natureza e densidade da cobertura vegetal, devido à capacidade desta em reter e armazenar temporariamente uma certa quantidade da precipitação incidente.

A exuberância no porte das árvores de manguezais das zonas equatoriais, tem relação com o regime de precipitação, pois, apesar da alta pluviosidade, as precipitações apresentam uma certa regularidade em sua distribuição, associada às altas temperaturas durante o ano todo. Isto tudo contribui com a grande diversidade de espécies, densidade e alturas elevadas.

O regime de precipitação nesta região somente sofre alterações significativas com a presença de sistemas sinóticos ou a influência do fenômeno El Niño. No ano de estudo, a partir de maio, especialmente, após a metade do mês, houve uma redução considerável da precipitação, certamente associada aos efeitos do El Niño na Amazônia.

Para análise da precipitação pluvial foi usada a série climatológica do INMET, da localidade de Tracuateua, para comparação com os dados de precipitação coletados na estação meteorológica automática, conforme mostrado na FIGURA 15. A amostragem dos dados abrange o período de maio a dezembro de 1997. Algumas falhas, como a ausência de dados no período de 13 a 17/05/97 e durante o mês de novembro de 1997, foram corrigidas por meio dos dados obtidos durante campanhas experimentais em torno da área de estudo.

Nesta figura é notado o efeito do fenômeno El Niño sobre a região, onde observa-se um prolongamento da estiagem na área de estudo. Comparando-se os valores da série climatológica com os medidos na estação meteorológica automática, nota-se que a precipitação total acumulada no período de maio a dezembro de 1997, representou apenas 13% da média dos totais acumulados em 18 anos.

A carcterística normal da série climatológica é de uma diminuição nos totais pluviométricos após o mês de julho, cuja redução apresenta uma relação com a maior disponibilidade de radiação solar sobre a área de estudo nesta época, em função do afastamento na região da ZCIT, que é o sistema atmosférico que mais influencia nas elevadas taxas de precipitação local.

Já foi discutido que as chuvas regionais exercem uma influência importante na dissolução dos sais marinhos no manguezal, baixando o conteúdo de sal acumulado no substrato. Portanto, longos períodos de estiagem, causam um processo de

concentração do sal, afetando a estabilidade do lençol freático, o que pode expor o manguezal à condições adversas de sobrevivência.

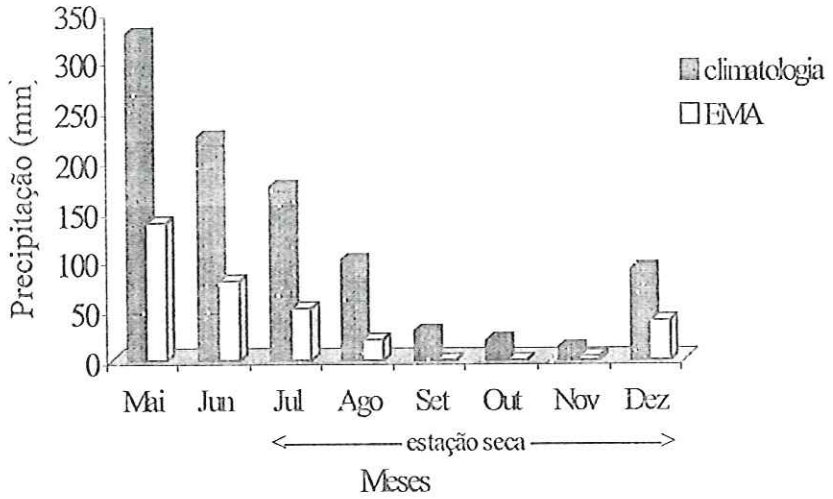


FIGURA 15 – Série climatológica de precipitação da estação de Tracuateua (climatologia) e da estação meteorológica automática do manguezal (EMA).

5.5 Temperatura do ar na copa das árvores

A temperatura é uma variável de grande importância no balanço de energia no interior dos manguezais, influenciando diretamente na evapotranspiração e demais fluxos energéticos. A razão limite das temperaturas é essencial na manutenção do desenvolvimento das espécies de mangue, influenciando em suas altas taxas de produtividade, permitidas pelo balanço de energia.

Através das medições da temperatura do ar na EMA, foi possível apresentar as variações médias mensais da temperatura durante os meses de janeiro e novembro, plotadas na FIGURA 16. Na média para o mês de abril não foram incluídos os dias no período de 2 a 20, para o mês de maio não foi incluído o período de dias de 13 a 17, devido a ausência de dados. No mês de agosto não foram coletados dados na EMA.

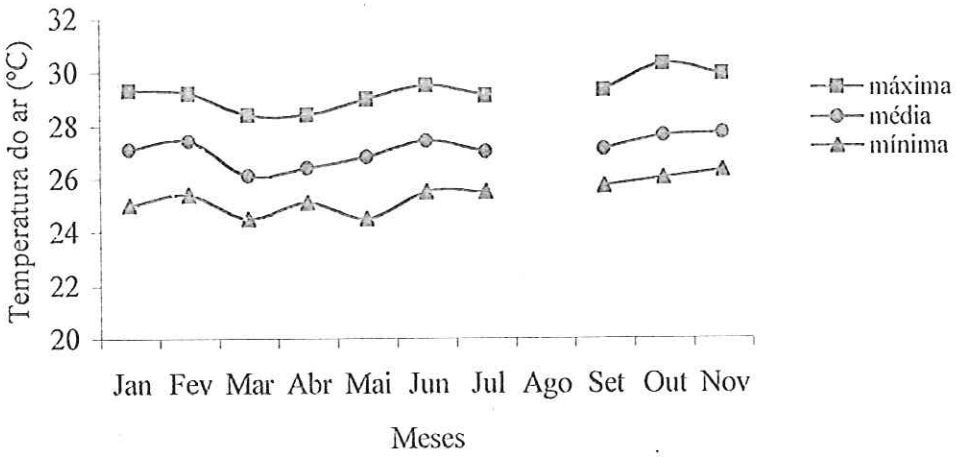


FIGURA 16 – Valores mensais das temperaturas do ar máxima, média e mínima, registradas na estação meteorológica automática.

O efeito da sazonalidade envolvendo a maior incidência da radiação solar na estação seca reflete-se nas variações de temperatura, onde os valores incrementam, especialmente entre os meses de setembro e novembro. Esta tendência é acompanhada pelos valores das temperaturas máximas e mínimas. Em média a temperatura do ar durante todo o período foi de 27,1°C, com valor máximo de 29,2°C e mínimo de 25,3°C.

Durante a estação chuvosa os valores máximos oscilaram entre 28,4 e 29,5°C, enquanto os valores mínimos variaram entre 24,5 e 25,5°C, com amplitude térmica variando entre 3,3 e 4,5°C. Já durante a estação seca os valores máximos de temperatura do ar oscilaram entre 29,1 e 30,3°C, com os mínimos valores variando entre 25,7 e 26,3°C. A amplitude térmica oscilou entre 3,6 e 4,3°C. Como era de se esperar, percebe-se claramente a elevação nas temperaturas máximas e mínimas, com uma pequena elevação na amplitude térmica durante a estação seca em comparação com a estação chuvosa.

5.6 Temperatura e fluxo de calor no solo

A temperatura do solo, assim como o fluxo de calor no solo do manguezal sofre complexas modificações durante o ano, devido ao aporte de materiais que são transportados do mar para o interior do manguezal e vice-versa. Além disso, o influxo de água salina para dentro do solo é constante através dos canais de entrada, o que torna o balanço anual destas variáveis extremamente complexo.

Para observação das medidas de temperatura do solo do manguezal foram escolhidos os níveis de 2, 5, 10, 20 e 30 cm de profundidade no manguezal no dia 14/05/97 e a 2, 5, 10 e 20 cm no dia 18/06/97, cujos resultados são apresentados nas FIGURAS 17 e 18, respectivamente. Uma comparação do fluxo de calor no solo nos dias 14/05/97 e 18/06/97 é apresentada na FIGURA 19.

As variações de temperatura do solo em ambos os dias apresentam a mesma característica, com temperaturas mínimas ocorrendo no momento em que o balanço de radiação passa de negativo a positivo, com defasagem de uma hora a 2 e 5 cm de profundidade com relação ao mínimo valor de temperatura do ar que foi observado às 6:00 h, aumentando esta defasagem a partir de 10 cm até 30 cm de profundidade. Assim, os valores mínimos de temperatura do solo no dia 14/05 ocorreram às 7:00 h nos níveis de 2 e 5 cm (24 e 24,1°C, respectivamente); às 8:00 h no nível de 10 cm (24,2°C), às 10:00 h no nível de 20 cm (22°C) e às 11:00 h (18°C) a 30 cm de profundidade.

No dia 18/06 os valores mínimos a 2 e 5 cm de profundidade foram semelhantes (23,8°C) às 7:00 h, sendo 23,9°C no nível de 10 cm às 8:00 h e 22,2°C a 20 cm às 8:00 h e 9:00 h. A partir desse momento, a temperatura do solo aumenta acompanhando o balanço de radiação, ocorrendo a temperatura máxima quando o balanço de radiação atinge valores máximos (26°C a 2 cm às 15:00 h nos dias 14/05 e 18/06), com uma hora de defasagem da ocorrência da máxima temperatura do ar. A partir daí, a temperatura decresce, até atingir novamente valores mínimos próximo ao amanhecer.

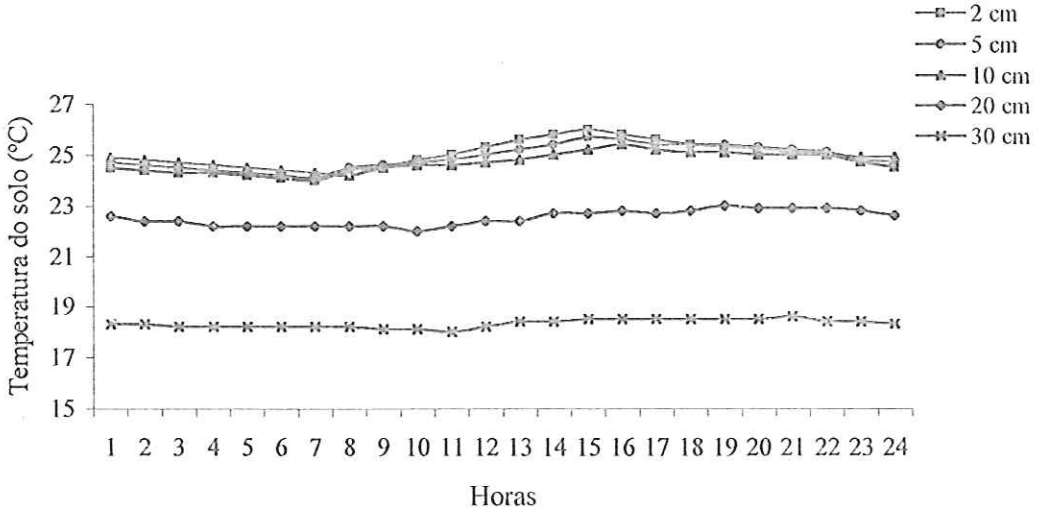


FIGURA 17 – Temperatura do solo a 2, 5, 10, 20 e 30 cm de profundidade no dia 14/05/97.

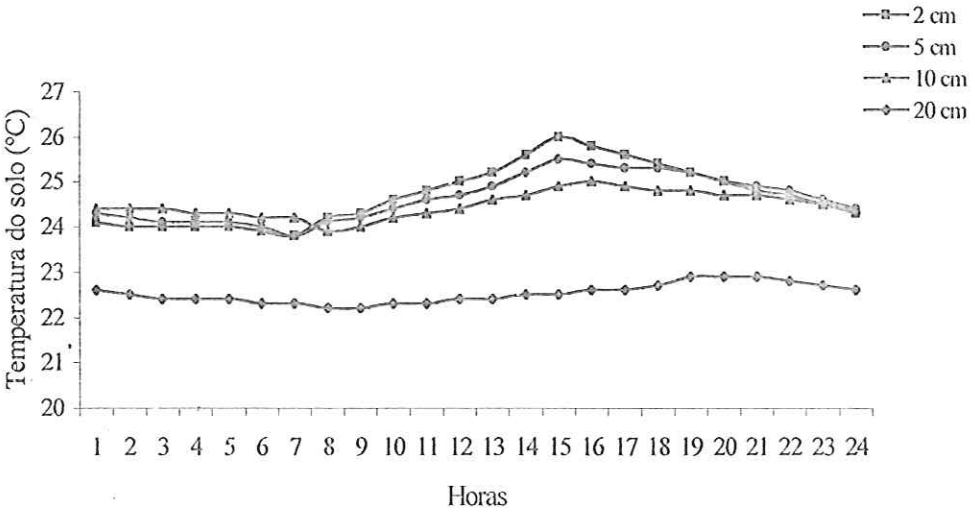


FIGURA 18 – Temperatura do solo a 2, 5, 10 e 20 cm de profundidade no dia 18/06/97.

Na FIGURA 19 observa-se que este processo ocorre devido ao aquecimento da superfície do solo que gera processos de dissipação de calor na atmosfera junto da superfície, que tendem a reduzir o aquecimento superficial. Estes processos

acentuam-se e atingem uma intensidade máxima quando o balanço de radiação é máximo. Com a diminuição do balanço de radiação, os processos de dissipação passam a predominar sobre o processo de aquecimento da superfície do solo, de modo a promover o seu resfriamento, embora o balanço de radiação seja positivo.

Na análise dos dois dias em estudo, percebe-se que há uma aquecimento maior na profundidade de 10 cm em relação às temperaturas entre 2 e 5 cm, sendo a variação da temperatura um pouco maior a 5 cm. Isto se dá devido às perdas radiativas que transportam calor da superfície do solo para a atmosfera, e com isso o transporte de calor ocorre das camadas mais profundas do solo em direção à superfície.

Como resultado da atenuação da radiação solar incidente através das camadas mais elevadas do dossel, a quantidade de radiação que chega a superfície é consideravelmente inferior àquela incidente no topo do dossel vegetativo e, portanto, o aquecimento superficial é menos elevado. Assim, as amplitudes térmicas variam de 2,0°C a 2 cm até 0,6°C a 30 cm no dia 14/05, e no dia 18/06 de 2,2°C a 2 cm até 0,7°C a 30 cm de profundidade. Portanto, enquanto o saldo de radiação à superfície é positivo, o calor vai sendo conduzido e armazenado no interior do solo. Quando o saldo de radiação é negativo, a superfície é suprida pelo fluxo ascendente de calor no solo.

Percebe-se na FIGURA 19 uma característica semelhante quanto a variação do ciclo diário do fluxo de calor no solo, destacando-se os transportes de calor da superfície do solo em direção às camadas mais profundas durante o dia e o inverso ocorrendo durante a noite. A diferença entre as estimativas para os dois dias em análise está na maior quantidade de calor sendo fornecida ao solo no dia 18/06 - com pico máximo de 4,2 W m^{-2} – que corresponde, aproximadamente, ao início da estação seca na região, enquanto no dia 14/05 (estação chuvosa) o pico máximo atingido foi de 3,3 W m^{-2}, com um tempo de retardamento de duas horas em relação ao valor do dia 18/06.

As diferenças observadas na área de fluxo de calor no sentido das camadas mais profundas do solo, podem caracterizar indícios de aquecimento em virtude das

amostragens representarem parcialmente dois períodos do final da estação chuvosa, porém requer observações mais extensas, para que se possa tirar conclusões.

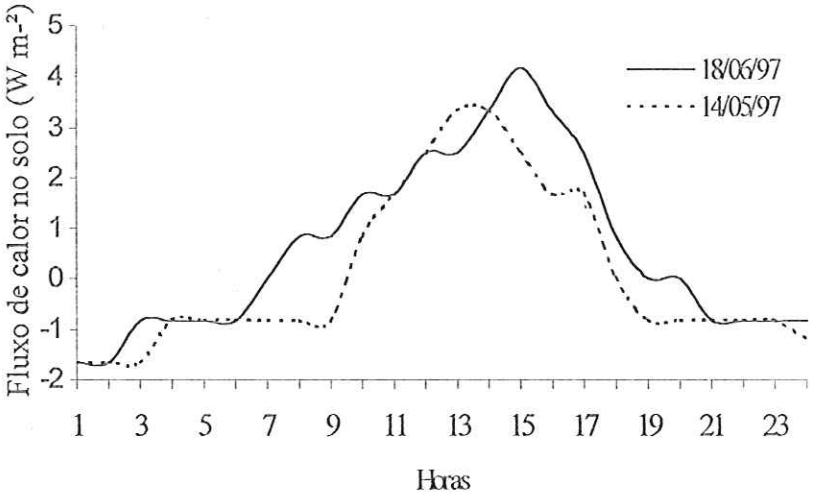


FIGURA 19 – Fluxo de calor no solo do manguezal nos dias 14/05/97 e 18/06/97.

5.7 Perfis verticais da temperatura do ar

Valores horários dos perfis verticais da temperatura do ar nos níveis de 2, 10, 20 e 25 m de altura acima do solo para os dias 14, 15 e 16/05/97 no interior do manguezal são mostrados nas FIGURAS 20, 21 e 22, respectivamente. Os perfis mostram que no princípio da manhã há uma tendência à isotermia (equilíbrio térmico), a qual é quebrada à medida que o dia avança e o armazenamento de energia solar recomeça. Esta isotermia, certamente está relacionada com a retenção da radiação térmica emitida pela vegetação.

No período da madrugada, costumeiramente, foi notada a formação de nevoeiro e orvalho, devido à redução da temperatura do ar e do vento. À partir de 8:00 h, verifica-se o efeito de absorção da radiação solar na parte superior do dossel (20 m), cuja camada é a mais aquecida no curso diário e este aquecimento se prolonga consideravelmente no período do meio-dia até a tarde. As camadas mais aquecidas foram observadas no intervalo de 10 a 20 m, onde ocorre maior concentração de área

foliar e uma maior quantidade de radiação solar é absorvida. Esta característica de retenção de energia térmica em torno da metade do dossel é um dos fatores que contribuem para os transportes de massa, calor e momento para a atmosfera, imediatamente acima da copa das árvores. Próximo à copa a rugosidade cria um fluxo de ar turbulento, o qual se mistura com as camadas de ar adjacentes, proporcionando o resfriamento do dossel.

O enfraquecimento dos gradientes nestas camadas durante a tarde indica uma eficiente mistura - relatada por SHUTTLEWORTH et al. (1984) para os perfis de temperatura medidos na floresta amazônica - porém no nível de 20 m os valores de temperatura foram sempre mais elevados. A diminuição da temperatura a 2 m é devido a baixa quantidade de radiação que atinge o solo do manguezal – somente 6% do valor da radiação fotossinteticamente ativa acima do dossel. A arquitetura do mangue facilita a penetração da radiação solar profundamente no dossel. Esta radiação é então principalmente consumida pelo aquecimento das camadas de ar superiores e por fim o aquecimento do solo e camadas de ar adjacentes. O resfriamento radiativo no mangue (18:00 h) pode ser notado através do decréscimo da temperatura nas camadas mais aquecidas.

Pode-se observar claramente ao pôr-do-Sol (a partir das 18:00 h) uma tendência de inclinação das curvas para a isotermia a qual ocorreu próximo às 6:00 h (nascer-do-sol). A partir das 8:00 h o gradiente de temperatura volta a estabelecer-se, assim, durante o dia o ar na parte inferior do mangue é mais fresco que o ar que está na parte superior e durante a noite, então, o ar nas partes mais aquecidas do dossel começa a resfriar-se até atingir a isotermia, caracterizando mesclas convectivas das massas de ar.

No dia 14/05 a temperatura máxima foi registrada no nível de 20 m (30°C) às 14:00 h. A temperatura mínima foi semelhante nas alturas de 25, 10 e 2 m (24,8°C) e muito próxima do valor observado na altura de 20 m (25°C) às 6:00 h. Esta característica é observada próximo ao amanhecer e no princípio da noite, devido às condições de neutralidade atmosférica. Na média diurna, entre 8:00 e 18:00 h e na média noturna, entre 20:00 e 6:00 h, prevaleceu o maior aquecimento na área de

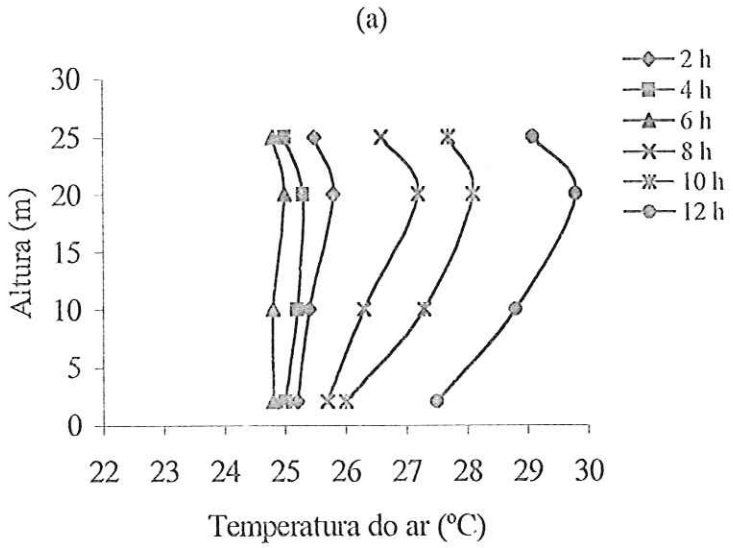
maior densidade foliar (20 m), com 28,6°C e 25,8°C, respectivamente. Acima da copa das árvores foi registrada a segunda camada mais aquecida com média diurna de 28,0°C e noturna de 25,5°C. Na seqüência dos maiores valores foram registrados 27,7°C (média diurna) e 25,4°C (média noturna) no nível de 10 m e 26,7°C (média diurna) com 25,2°C (média noturna) no nível de 2 m. A maior amplitude térmica foi verificada na altura de 20 m (5,0°C) e a menor amplitude foi observada na altura de 2 m (2,7°C). A maior diferença foi encontrada entre as máximas temperaturas, 2,5°C (entre os níveis de 20 e 2 m), enquanto as mínimas variaram em apenas 0,2°C.

Na análise do dia 15/05 a temperatura máxima foi registrada também no nível de 20 m (29,9°C) às 14:00 h. A temperatura mínima, 23,6°C às 6:00 h foi registrada no nível de 2 m. Na média diurna e noturna mantêm-se o maior aquecimento na área de maior densidade foliar (20 m), com 28,7°C e 25,9°C, respectivamente. Os menores valores foram observados na altura de 2 m com 26,7°C na média diurna e 24,5°C na média noturna. A maior amplitude térmica também foi notada na altura de 20 m (5,6°C) e a menor amplitude continuou sendo no nível de 2 m (4,4°C). A maior diferença foi encontrada entre as máximas temperaturas 1,9°C (entre os níveis de 20 e 2 m), com as mínimas variando em 0,7°C.

As mesmas tendências dos perfis da temperatura dos dias 14 e 15 de maio foram notadas nas variações de temperatura nos perfis do dia 16 de maio, com valor máximo de temperatura observado no nível de 20 m, 30°C às 14:00 h e mínimo na altura de 2 m com 23,7°C no horário de 06:00 h. A maior amplitude térmica manteve-se entre os níveis de 20 m e 25 m (5,4 e 5,3°C, respectivamente). A maior diferença entre as máximas temperaturas foi de 2,2°C, entre os níveis de 20 e 2 m.

5.8 Perfis verticais do déficit de umidade específica

As FIGURAS 23, 24 e 25, mostram os valores médios horários dos perfis verticais do déficit de umidade específica para os dias 14, 15 e 16/05/97. Nota-se que as variações dos perfis com a altura acompanham as mesmas tendências observadas nos valores horários da temperatura do ar, sendo, portanto, controlados pelas mudanças de temperatura. Assim como verificado nos padrões de temperatura do ar,



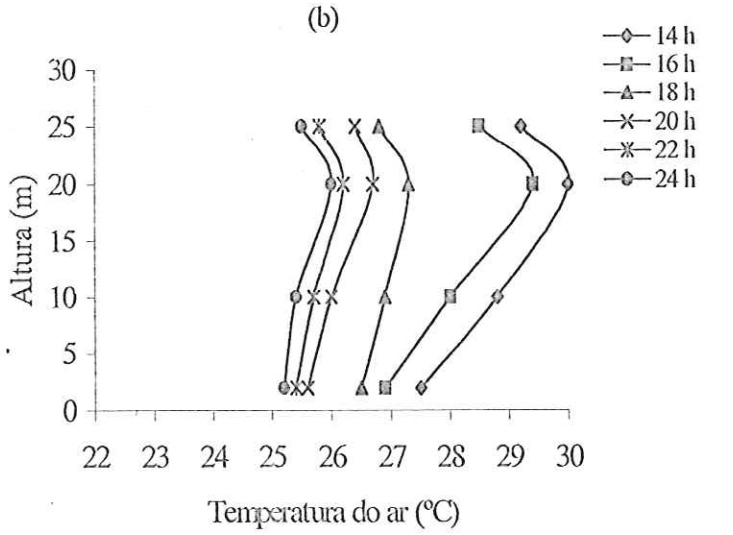
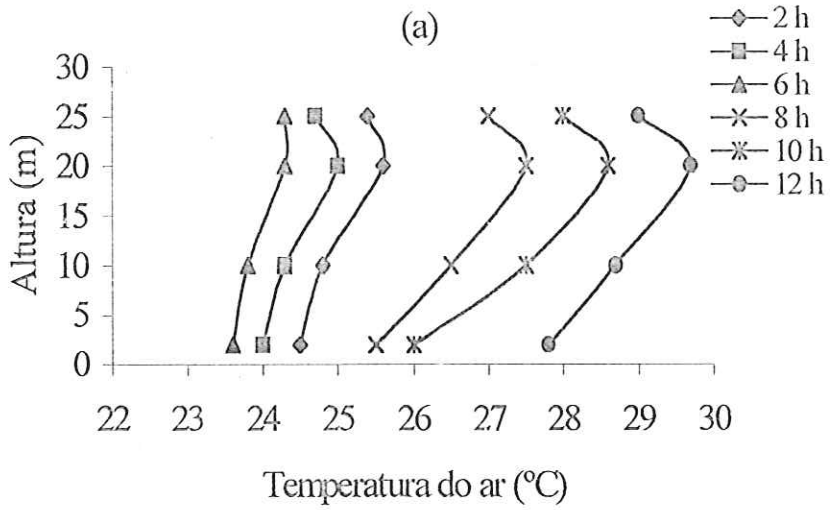


FIGURA 20 – Perfis verticais da temperatura do ar para o dia 14/05/97 nos intervalos de (a) 2:00 às 12:00 h e (b) 14:00 às 24:00 h.



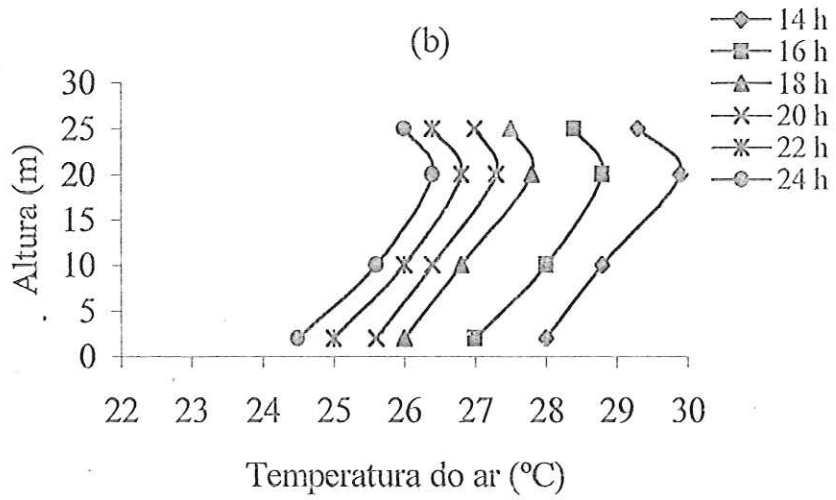


FIGURA 21 – Perfis verticais da temperatura do ar para o dia 15/05/97 nos intervalos de (a) 2:00 às 12:00 h e (b) 14:00 às 24:00 h.

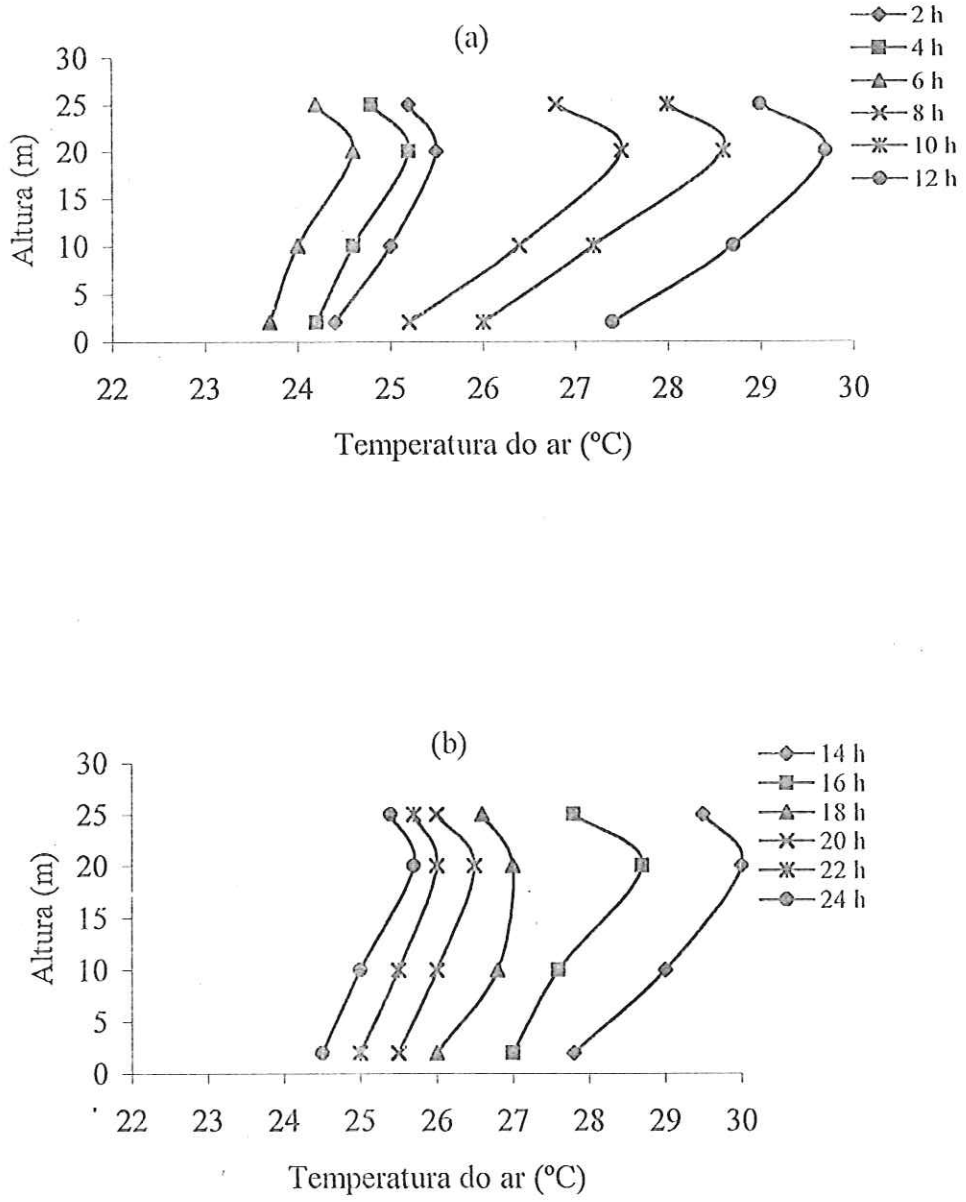


FIGURA 22 – Perfis verticais da temperatura do ar para o dia 16/05/97 nos intervalos de (a) 2:00 às 12:00 h e (b) 14:00 às 24:00 h.

os menores valores do déficit de umidade específica foram registrados às 6:00 h, atingindo inclusive a saturação do ar no nível de 2 m, o que ocorreu muitas vezes no período noturno devido à calmaria na velocidade do vento e queda da temperatura, o que fez o ar atingir a saturação, com a formação de nevoeiro e orvalho, os quais desapareceram logo após o nascer-do-sol, com a elevação da temperatura do ar.

Os perfis do déficit de umidade específica apresentam uma elevação a partir de 6:00 h até às 14:00 h, período em que o mangue está recebendo e armazenando a energia solar no interior do dossel até a superfície do solo, isto acontece porque uma considerável porção do saldo de radiação é consumida na evapotranspiração, na região do dossel de maior índice de área foliar (área mais aquecida) a 20 m de altura. No nível de 25 m os valores do déficit de umidade são mais baixos em comparação com o nível de 20 m, o que indica o efeito de transporte de vapor d'água entre o dossel e a atmosfera imediatamente acima. Assim, após às 14:00 h já são observados valores mais baixos do déficit (maior umidade disponível) em todos os níveis de altura. No entanto, o déficit de umidade no nível de 20 m permanece mais elevado do que acima da copa das árvores, diminuindo gradativamente até às 24:00 h. Deste horário até às 8:00 h, percebe-se um equilíbrio no transporte de vapor d'água entre a parte superior do dossel e o ar acima da copa, com a inversão do gradiente do déficit de umidade daí em diante.

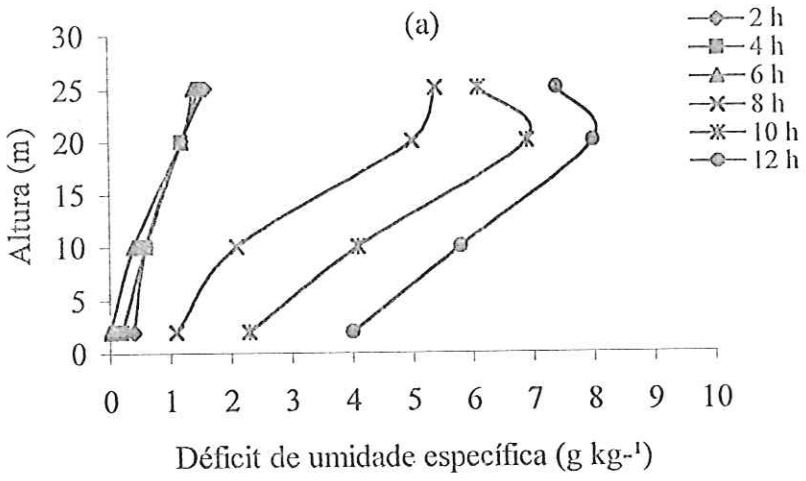
Para o dia 14/05/97 o maior valor do déficit de umidade específica (o que indica menor concentração de umidade no ar) foi notado na altura de 20 m, atingindo 8,5 g kg^{-1} às 14:00 h. Neste horário também ocorreram os maiores valores do déficit de umidade nas alturas de 5, 10 e 25 m, acompanhando as máximas temperaturas observadas neste horário em todos os níveis de altura estudados. O déficit mínimo de umidade sofreu um decréscimo desde as camadas superiores até as camadas inferiores do dossel, quando o ar atingiu a saturação de vapor d'água no nível de 2 m de altura (déficit de umidade igual a zero). Na média diurna, entre 8:00 e 18:00 h o maior déficit de umidade ocorreu na área de maior densidade foliar, com 6,7 g kg^{-1}. Na média noturna, entre 20:00 e 6:00 h, prevaleceu a maior deficiência de umidade a 20 e 25 m de altura com 1,9 g kg^{-1} em ambos os níveis. Os menores valores do déficit de umidade foram observados sempre em todos os níveis durante a

noite, em comparação com as médias diurnas, o que evidencia a maior concentração de umidade no período noturno. Na média diária o maior valor foi registrado no nível de 20 m (4,3 g kg^{-1}) e o menor valor ocorreu no nível de 2 m (2 g kg^{-1}). A amplitude do déficit de umidade atingiu maior valor (7,3 g kg^{-1}) na altura de 20 m e menor valor (4,6 g kg^{-1}) a 2 m de altura, região de maior concentração de umidade no ar.

No dia 15/05 as características dos perfis horários do déficit de umidade específica foram parecidas com aquelas observadas no dia 14/05, porém o déficit máximo foi mais elevado atingindo 9,4 g kg^{-1}, com o mínimo ocorrendo na altura de 2 m (0,2 g kg^{-1}). Portanto continuou a característica de saturação do ar acompanhada de formação de nevoeiro e orvalho durante a madrugada. Na média noturna o menor valor de déficit de umidade ocorreu no nível de 10 m (0,9 g kg^{-1}) e o maior valor na altura de 25 m (2,6 g kg^{-1}). Na média noturna os valores do déficit de umidade estiveram sempre abaixo da média diurna, com menores valores sempre entre os níveis de 2 e 10 m. A maior amplitude entre os déficits de umidade foi notada na altura de 20 m com 8,1 g kg^{-1} e a menor amplitude ocorreu na altura de 2 m com 4,8 g kg^{-1}.

Na análise do dia 16/05 os perfis horários do déficit de umidade específica apresentaram também as mesmas características observadas nos dias 14 e 15/05, cujo déficit máximo ocorreu às 14:00 h, com 9,2 g kg^{-1} na altura de 20 m. Já o déficit mínimo continuou acontecendo no nível de 2 m com 0,2 g kg^{-1} às 6:00 h (horário de ocorrência da temperatura mínima). A média noturna foi de idêntica entre os níveis de 20 e 25 m de altura, com 3,1 g kg^{-1} (valor mais elevado) e 1,1 g kg^{-1} na altura de 2 m (valor mais baixo). Na média diurna o valor máximo do déficit de umidade foi 7,3 g kg^{-1} na altura de 20 m e o mínimo foi de 3,5 g kg^{-1} no nível de 2 m. A amplitude do déficit de umidade continuou maior a 20 m (6,9 g kg^{-1}) e menor a 2 m (5 g kg^{-1}).

A umidade permanente e a alta absorção de energia, principalmente de radiações do espectro infravermelho no manguezal, garantem por muitas vezes a saturação do ar, funcionando como um parâmetro de controle da evapotranspiração. neste ambiente.



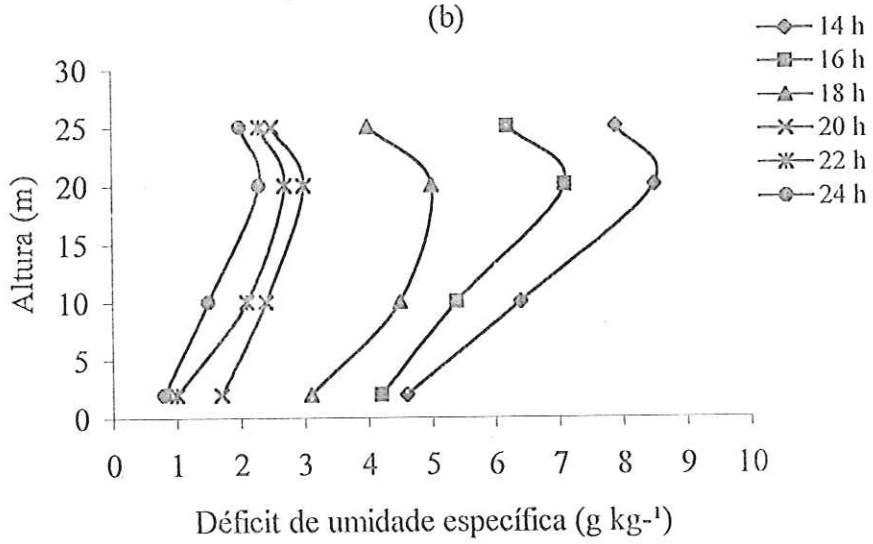
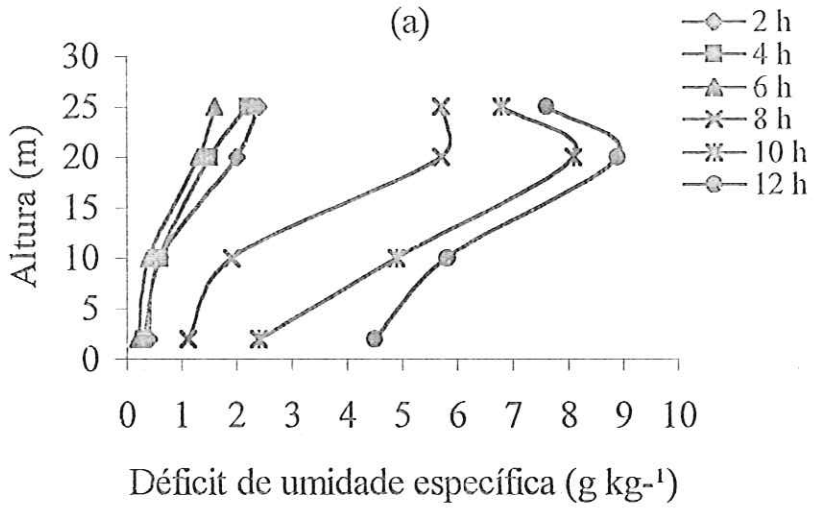


FIGURA 23 – Perfis do déficit de umidade específica para o dia 14/05/97 nos intervalos de (a) 2:00 às 12:00 h e (b) 14:00 às 24:00 h.



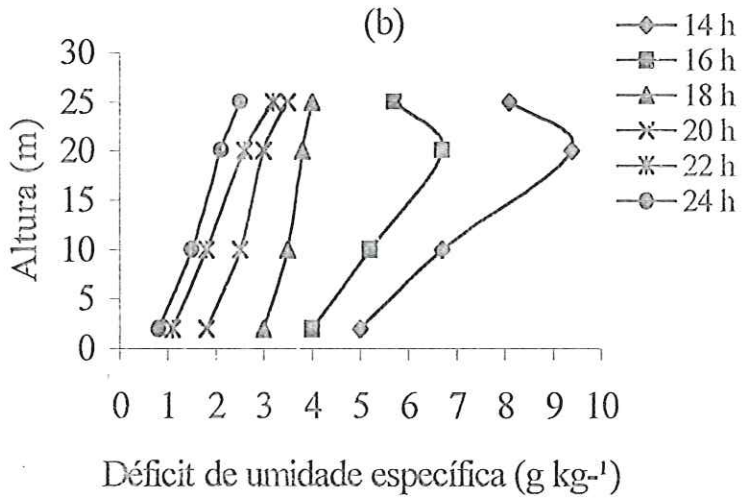
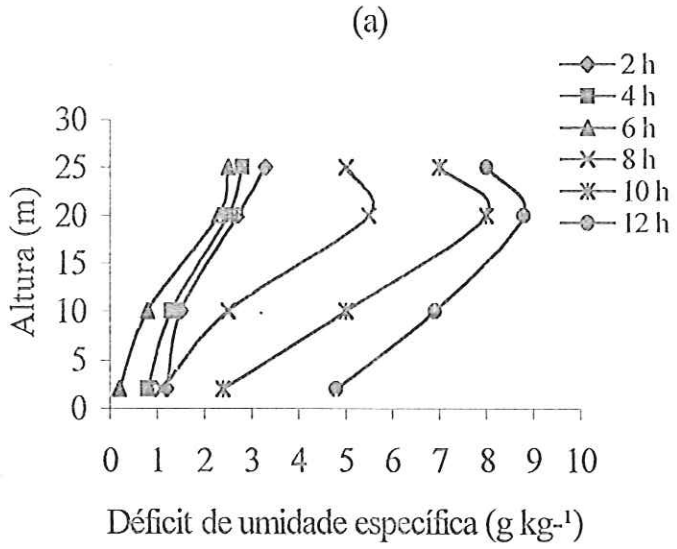


FIGURA 24 – Perfis do déficit de umidade específica para o dia 15/05/97 nos intervalos de (a) 2:00 às 12:00 h e (b) 14:00 às 24:00 h.



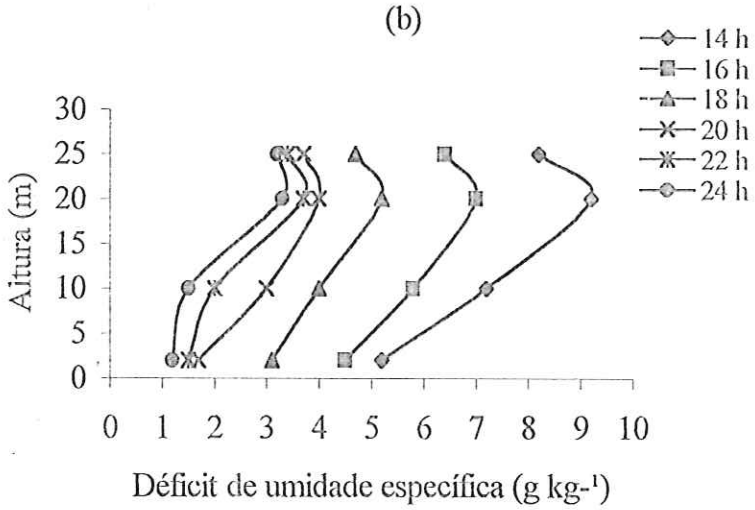


FIGURA 25 – Perfis do déficit de umidade específica para o dia 16/05/97 nos intervalos de (a) 2:00 às 12:00 h e (b) 14:00 às 24:00 h.

5.9 Direção e velocidade do vento

Durante o ano de 1997 mais de 12000 registros da direção do vento foram realizados na estação meteorológica automática no manguezal, com grande predominância dos ventos de Nordeste. Para ilustrar são mostrados os registros com as freqüências da direção do vento para os meses de outubro (número de registros, n = 1488) na FIGURA 26, e novembro (n = 1437) na FIGURA 27, obtidos na altura de 27 m (acima da copa das árvores) na estação seca.

A freqüência de direção do vento foi quase que totalmente de Nordeste nos dois meses devido ao efeito da circulação geral da atmosfera. Especialmente neste período não foi notada a presença de sistemas de meso-escala para influenciar nas condições de tempo na escala local, exceto a influência do fenômeno El Niño que estava atuando na região desde maio, reduzindo plenamente a precipitação.

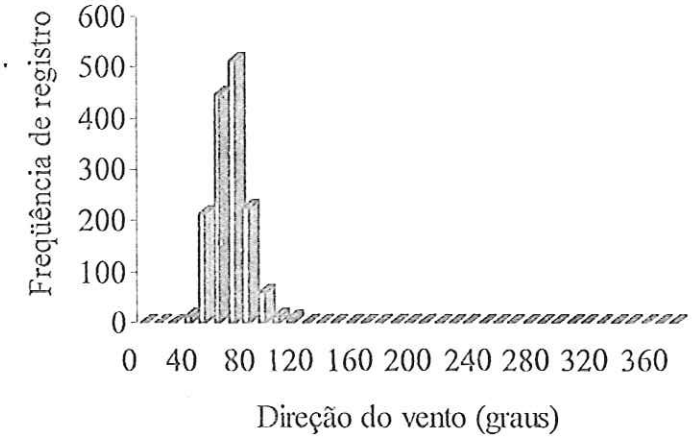


FIGURA 26 – Freqüência da direção do vento no mês de outubro de 1997.

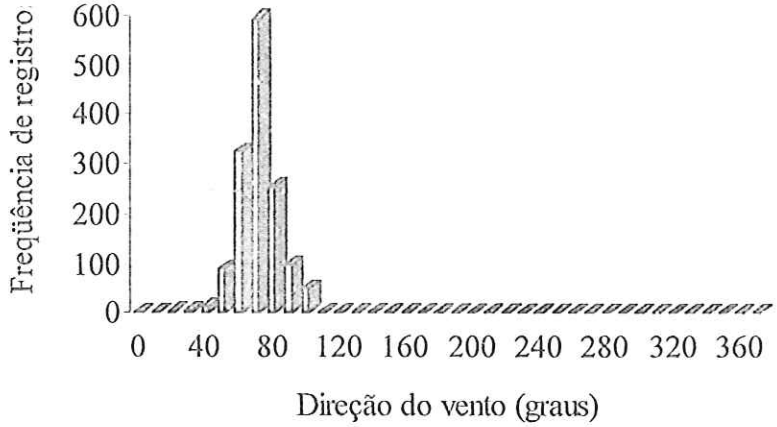


FIGURA 27 – Freqüência da direção do vento no mês de novembro de 1997.

Em outubro a freqüência de registros de direção do vento de Nordeste foi igual a 99% do total de amostragens. Em novembro esta freqüência foi similar a observada em outubro. Nesta época do ano, os sistemas atmosféricos que atuam na região são normalmente convectivos com formação de precipitações localizadas.

As variações da velocidade vento medida nas alturas de 22 m (altura da copa das árvores) e a 27 m são apresentadas na FIGURA 28 para o período de 13 a 17/05/97 e na FIGURA 29 para o período de 17 a 20/06/97. O curso diário da velocidade do vento acompanha as variações do balanço de radiação, assim, a velocidade do vento é maior durante o período diurno, sob efeito do balanço de radiação positivo e o inverso ocorre durante a noite, quando o balanço de radiação é negativo.

As características do vento nos dois períodos estudados, destacam uma variação sistemática ao longo dos dois níveis de medição, com valores mais elevados diariamente na altura de 27 m. Os valores registrados na altura de 22 m, devido a maior proximidade do dossel sofrem a influência da rugosidade na copa das árvores, o que influencia na redução do vento neste nível em comparação com o vento a 27 m, e causa um fluxo turbulento de calor, gás carbônico e umidade emergente através da copa para a atmosfera.

É interessante observar que há um incremento no vento nos dois níveis de medição no mês de junho (final da estação chuvosa) em relação aos valores obtidos no mês de maio (durante a estação chuvosa): a amplitude do vento na altura de 22 m (2,7 m s^{-1}) em maio é aumentada para 3,7 m s^{-1} em junho; na altura de 27 m incrementa de 2,0 m s^{-1} em maio para 3,5 m s^{-1} em junho. Na média diária a velocidade do vento no nível de 22 m foi 1,3 m s^{-1} em maio e 2,2 m s^{-1} em junho; na altura de 27 m os valores médios diários foram 2,5 m s^{-1} em maio e 3,5 m s^{-1} em junho.

Pode-se notar que as maiores amplitudes, em ambos os períodos, acontecem no nível próximo ao dossel, o que caracteriza o efeito de aquecimento desta superfície, que favorece a turbulência mecânica gerada através do rugoso dossel durante o dia e a dissipação dos transportes turbulentos durante a noite, devido ao resfriamento da superfície foliar. Na climatologia regional, a nível de superfície a velocidade do vento é baixa, o que vale ressaltar que os mangues tem um desenvolvimento muito escasso nas regiões que são relativamente influenciadas por ventos fortes, que causam, entre outros danos, ressecamento e desenraizamento.

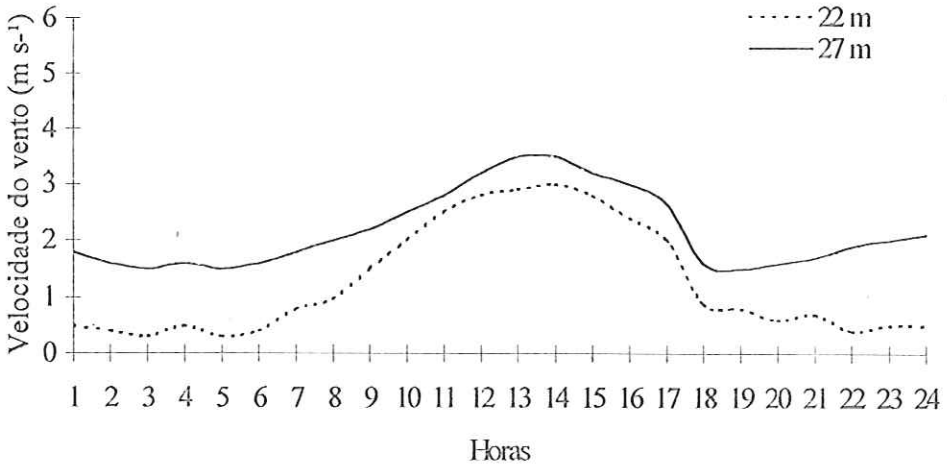


FIGURA 28 – Velocidade média do vento nas alturas de 22 m (copa das árvores) e 27 m no período de 13 a 17/05/97.

Logo após o anoitecer verifica-se uma redução na velocidade do vento, caracterizando uma fase de transição entre o fim do abastecimento de energia solar e o início do efeito de brisa, que ocorre logo em seguida. Observa-se esta variação no período da madrugada, especialmente no nível de 27 m de altura, quando a brisa sopra durante a madrugada até próximo ao amanhecer, momento em que há uma redução na velocidade do vento, devido a outra transição nos perfis do vento, em função do reabastecimento de energia solar. Este efeito é bem perceptível na FIGURA 29.

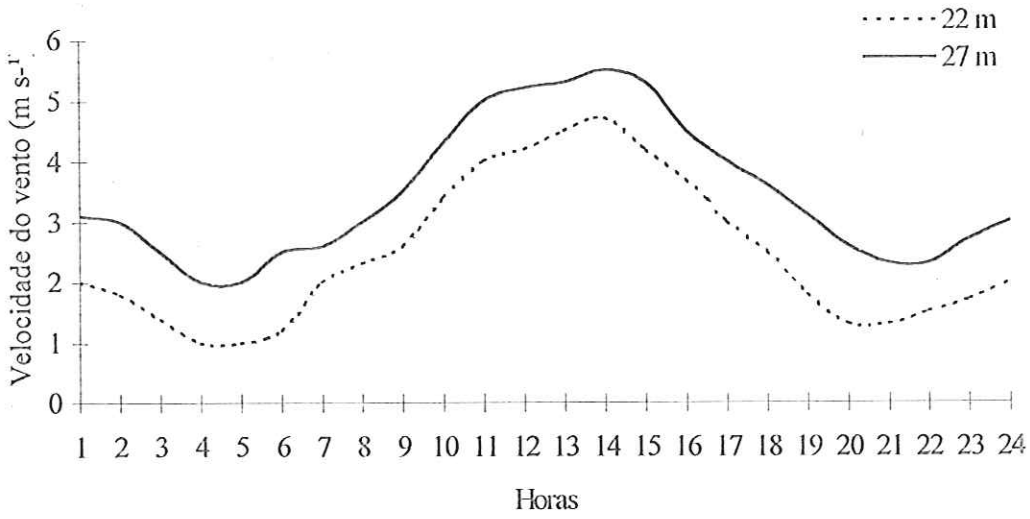


FIGURA 29 – Velocidade média do vento nas alturas de 22 m (copa das árvores) e 27 m no período de 17 a 20/06/97.

5.10 Evaporação

A FIGURA 30 mostra as taxas de evaporação medidas no tanque classe A no interior da planície do pântano salgado, numa franja do manguezal, próxima ao Furo Grande, entre os meses de abril e maio. As elevadas taxas de evaporação na região bragantina contribuem com a grande concentração de umidade no ar, que por sua vez mantém uma considerável absorção de energia pelo vapor d'água, especialmente das

radiações infravermelhas, o que favorece com freqüência a saturação do ar no período noturno no manguezal.

O manguezal naturalmente possui características muito peculiares que o distingue facilmente dos outros ecossistemas na questão do escoamento e transporte de águas e materiais sólidos, por seus canais de drenagem, através dos quais acontece sempre uma renovação e descontinuidade na quantidade de água evaporada para a atmosfera.

Na área de estudo, à medida em que a maré aproxima-se da preamar os canais elevam o nível das águas internas do manguezal propiciando uma maior disponibilidade de águas com potencial evaporativo, dependendo apenas dos fatores ambientais que influenciam no processo de evaporação. As medidas da evaporação no manguezal (obtidas por meio de medida direta no tanque classe A) realizadas entre abril e maio de 1997 apresentaram um valor médio diário de 4,4 mm dia^{-1}, valor consideravelmente elevado, associado à grande disponibilidade de radiação solar e vento nesta época do ano.

A evaporação apresentou grande oscilação, com um coeficiente de variação de 59,1%, associado certamente aos efeitos das condições de tempo local e de mesoescala, que inibem os processos evaporativos por meio do transporte de vapor d'água para o manguezal ou potencializam a evaporação pelo suprimento de água que fica disponível no solo, vegetação e canais. O estudo da evaporação com ênfase ao manguezal é muito importante, pois a água depositada no substrato fica facilmente disponível para as plantas, sendo ativamente evaporada, o que é importante na quantificação do fluxo de calor latente para o balanço de energia.

No pântano salgado, durante os eventos de preamar a área circunvizinha ao tanque classe A esteve constantemente alagada, porém notou-se que, uma semana após a ocorrência de precipitação, o pântano salgado manteve-se muito úmido, com uma taxa de evaporação de 9,7 mm dia^{-1} na primeira semana e 8,9 mm dia^{-1} na segunda semana. Durante a ausência de precipitação, que aconteceu após as duas primeiras semanas de abril, as taxas de evaporação caíram abaixo de 5 mm dia^{-1} nas duas últimas semanas de abril. Esta característica persistiu durante o mês de maio,

quando houve ocorrência de precipitação na primeira semana do mês, e com isto a taxa de evaporação alcançou 11 mm dia^{-1}, ocorrendo um decréscimo nesta taxa durante as duas semanas posteriores, onde houve uma estiagem, para vir a precipitar novamente com forte intensidade, de modo que na penúltima semana de maio a taxa de evaporação foi 11,8 mm dia^{-1} e na última semana, 8 mm dia^{-1}.

Resultados semelhantes foram encontrados por HOLLINS & RIDD (1993) para um pântano salgado próximo a Townsville, na Austrália, onde até três dias após a inundação de maré ou ocorrência de precipitação, o pântano salgado esteve úmido com taxas de evaporação de 5 mm dia^{-1}. Porém, cerca de oito dias após inundação de maré e com ausência de precipitação, as taxas de evaporação ficaram abaixo de 2 mm dia^{-1}, com uma taxa mensal de evaporação de 70 mm dia^{-1}.

Numa comparação entre os valores totais mensais de evaporação durante os meses de abril e maio medidos no manguezal em 1997 e na estação climatológica de Tracuateua, representativa para o período de 1973 a 1990 na região bragantina, observou-se valores mais elevados na série climatológica, com total de 36,6 mm em abril, enquanto no manguezal a taxa de evaporação foi de 28 mm. No mês de maio a taxa de evaporação atingiu 41,8 mm na série climatológica e 38,5 mm no manguezal.

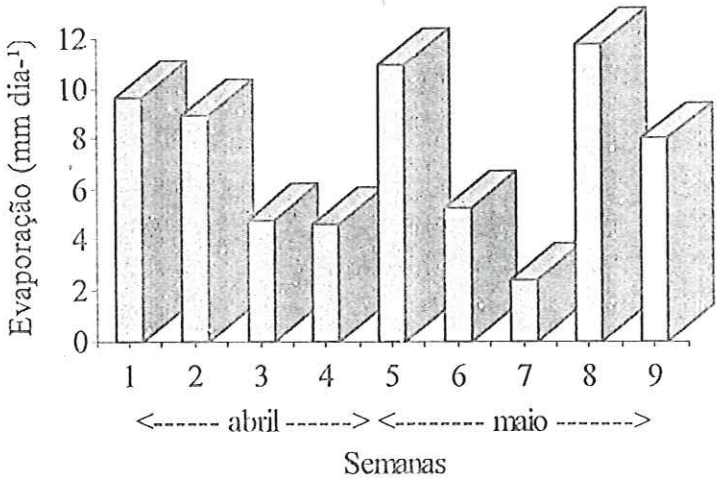


FIGURA 30 – Distribuição média da evaporação no tanque classe A durante nove semanas entre abril maio de 1997.

5.11 Alterações decorrentes do desmatamento no manguezal

5.11.1 Temperatura do solo

As flutuações da temperatura no solo são descritas experimentalmente para períodos de flutuações diárias, através da composição média das campanhas experimentais na FIGURA 31, para o manguezal em seu estado natural, e na FIGURA 32, para a área desmatada. Para essas ondas, aproximadamente senoidais quando normalizadas, a maior flutuação (maior amplitude) ocorre próximo à superfície do solo (2 cm), com 2,9°C no manguezal e 11,3°C na área desmatada.

Conforme a onda passa a decair dentro do solo, sua amplitude é bastante amortecida e o atraso do tempo de oscilação, com relação àquele na superfície, aumenta. As flutuações diárias decrescem exponencialmente com a profundidade e a 20 cm representam 27,6% daquelas junto à superfície no manguezal e 23% na área desmatada. As flutuações a 20 cm são também demoradas, sendo a máxima neste nível para o manguezal atingida às 18:00 h e a mínima às 7:00 h. Já na área desmatada a máxima a 20 cm ocorreu às 17:00 h (31,8°C) e a mínima 29,2°C às 10:00 h. Estas diferenças são relacionadas ao suprimento de calor fornecido da superfície para dentro do solo e de dentro do solo para a superfície.

A temperatura da superfície é dominada pelos fluxos de radiação incidente e re-irradiação e, conseqüentemente, apresenta maior variação sendo muito influenciada pelo grau de nebulosidade. A nebulosidade influi na redução da amplitude das ondas térmicas superficiais durante o dia. Por outro lado, à noite, a nebulosidade impede um maior resfriamento do solo assim como da atmosfera. O efeito da nebulosidade pode ser notado na inclinação inversa na curva de temperatura do solo na área desmatada. Nos níveis de 2 e 5 cm a inclinação é observada às 13:00 horas, enquanto nos níveis de 10 e 20 cm esta inclinação é observada às 14:00 horas.

A máxima temperatura do solo no manguezal atingiu 27,0°C às 12:00 h, enquanto na área desmatada este extremo chegou a 38,3°C às 14:00 h. O solo exposto da área desmatada tem a capacidade de transferir a energia solar absorvida na superfície para as camadas inferiores do solo, porém, não apresenta a mesma

eficiência quanto a retenção da energia transferida e armazenada abaixo da superfície, logo, nota-se no período noturno, rápidas perdas radiativas, que são percebidas na análise da amplitude térmica diária, que alcançou 11,3°C , no nível de 2 cm de profundidade. Já no manguezal, onde o armazenamento de energia é mais eficiente, a amplitude térmica diária a 2 cm de profundidade foi de 2,9°C.

É interessante destacar que durante as amostragens de temperatura do solo não houve registro de precipitação, bem como não ocorreu inundação da área desmatada pelo efeito das marés. A dinâmica termal do solo precisa ser interpretada considerando-se também os períodos de marés altas (águas de março), porém, observacionalmente, não foram preponderantes para a regeneração do mangue.

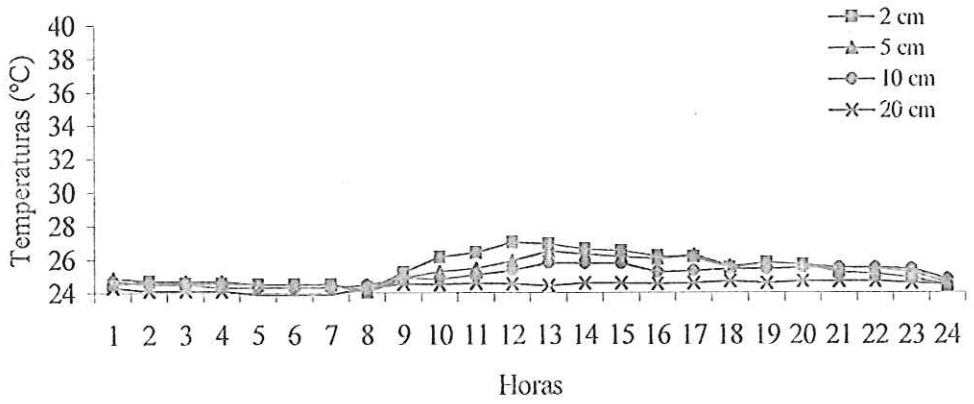


FIGURA 31 – Variação média horária dos perfis das temperaturas do solo no manguezal, no período de 17 a 20/06/97.

A estrutura mais proeminente da variação diurna do perfil de temperatura no solo é a zona de alta temperatura, que se origina à superfície e que é resultado do intenso aquecimento pela radiação solar durante o dia. No fim da tarde essa zona se propaga para baixo, decrescendo em intensidade nas camadas mais profundas do solo. Este efeito é nítido ao observarmos os perfis das temperaturas do solo na área desmatada.

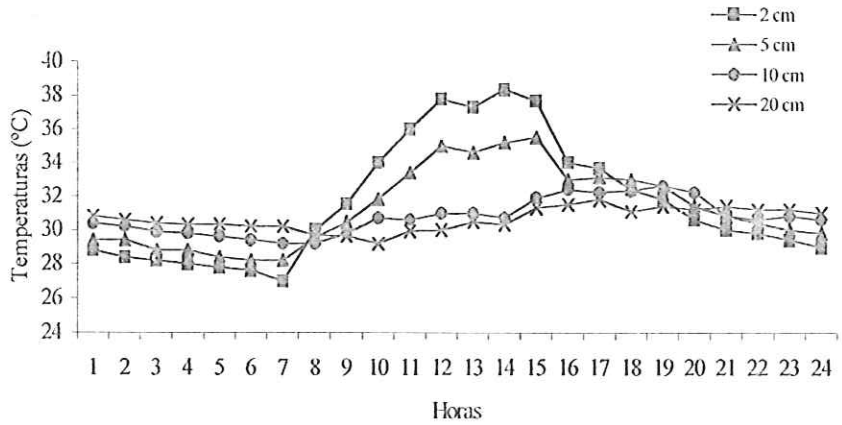


FIGURA 32 - Variação média horária dos perfis das temperaturas do solo na área desmatada, no período de 17 a 20/06/97.

O efeito de atenuação da radiação solar global ao atingir a superfície do solo no manguezal ficou destacado nas FIGURAS 31 e 32, cuja absorção da radiação solar global através do dossel vegetativo reduz o aquecimento superficial no manguezal e aumenta o mesmo na área desmatada. Como o solo na área desmatada é do tipo gleissolo com textura granular pouco espessa e tonalidade cinza, estas caracterísiticas contribuem com as taxas de temperatura bastante elevadas, principalmente a 2 e 5 cm de profundidade, o que evidencia a grande capacidade de absorção da radiação solar incidente.

5.11.2 Fluxo de calor no solo

As maiores variações do fluxo de calor na área desmatada em relação ao manguezal são mostradas na FIGURA 33. Tais valores elevados tanto para o interior do solo quanto para a superfície são resultantes, evidentemente, do maior grau de aquecimento na área desmatada. No manguezal o valor máximo do fluxo de calor no solo foi de apenas 9,4 W m^{-2}, enquanto na área desmatada o fluxo máximo atingiu 73,1 W m^{-2}. Neste local, entre 8:00 h e 18:00 h prevalecem os fluxo positivos de calor (da superfície do solo em direção às camadas inferiores); entre 19:00 h e 07:00 h os

fluxos se invertem e tornam-se negativos (das camadas inferiores em direção a superfície do solo). Como no manguezal há pouca variação nos fluxos de calor no solo, ocorrem valores positivos apenas entre 8:00 h e 16:00 h, com um valor máximo de 9,4 W m^{-2} às 12:00 h.

As trocas diárias do transporte vertical de calor no solo não aprofundam mais que 30 cm a 50 cm, cujo fluxo de calor é feito por condução molecular em ondas. Especialmente na área desmatada a característica diária mais comum funciona da seguinte forma: durante o dia o solo absorve radiação solar (ondas curtas), se aquece e transmite calor para as camadas inferiores, Embora não tenha sido objeto de estudo neste trabalho, sabe-se que ocorre também um fluxo de calor em direção à atmosfera, proporcionando o aquecimento do ar.

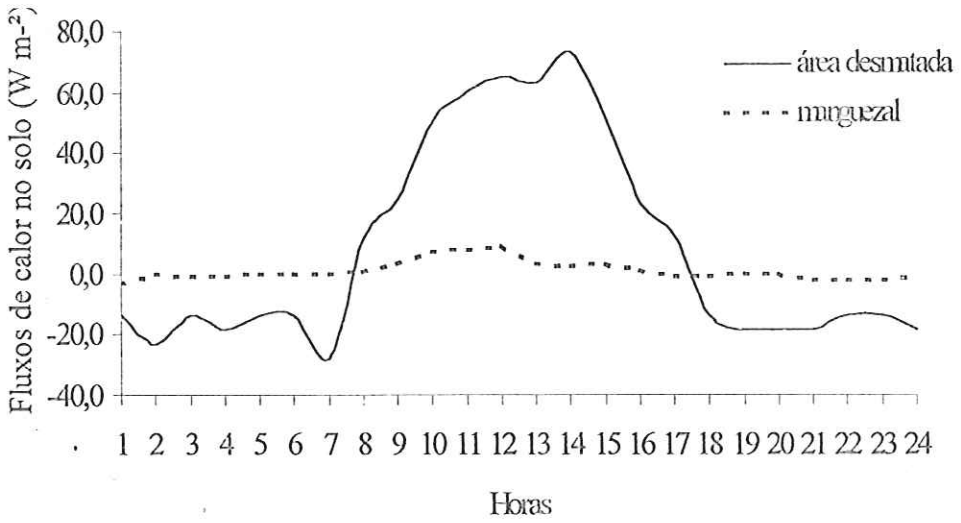


FIGURA 33 – Variação média horária do fluxo de calor no solo no manguezal e na área desmatada, no período de 17 a 20/06/97.

A superfície do solo portanto é fonte de calor para as camadas mais profundas do solo (e para a atmosfera) durante o dia. No período noturno a superfície do solo perde mais radiação de ondas longas para a atmosfera, se resfria, e o fluxo de calor

superfície do solo, ocorrendo então fluxo de calor tanto da atmosfera para a superfície do solo, quanto das camadas mais profundas do solo em direção à superfície. Assim, a superfície do solo durante a noite funciona como sumidouro de calor da atmosfera e das camadas inferiores do solo.

5.11.3 Temperatura do ar

A temperatura do ar é um fator importante no balanço de energia em manguezais, influenciando significativamente na evapotranspiração e demais fluxos de energia. Os extremos de temperatura são fundamentais por limitar o desenvolvimento e a sobrevivência das espécies de mangue, garantindo suas funções metabólicas de produtividade em função do armazenamento e balanço de calor local.

Uma comparação entre a variação diária da temperatura do ar no manguezal e na área desmatada é mostrada na FIGURA 34, para as campanhas de 13 a 17/05/97, 17 a 20/06/97 e 25 a 27/10/97. Temperaturas mais amenas foram verificadas no manguezal durante o período diurno, entretanto no período noturno as temperaturas no manguezal sobrepõe-se aos valores observados na área desmatada. Evidentemente, que 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.

A área desmatada, como era de se esperar, torna-se mais aquecida no período diurno devido à exposição do solo à radiação solar direta e, no comportamento geral, é notada uma redução na amplitude térmica no manguezal em comparação com a área desmatada. A amplitude térmica na área desmatada foi 2,6°C mais elevada na campanha de maio e aumentou para 3,9°C na campanha de outubro.

Na média diurna da temperatura do ar, a área desmatada esteve mais aquecida em 0,8°C em maio, 0,9°C em junho e 0,9°C em outubro, enquanto na média noturna ocorreu o inverso, com o manguezal mais aquecido em 0,9°C em maio, 0,7°C em junho e 2,0°C em outubro. Com isso pode-se sugerir que o desmatamento aumenta a amplitude térmica local.

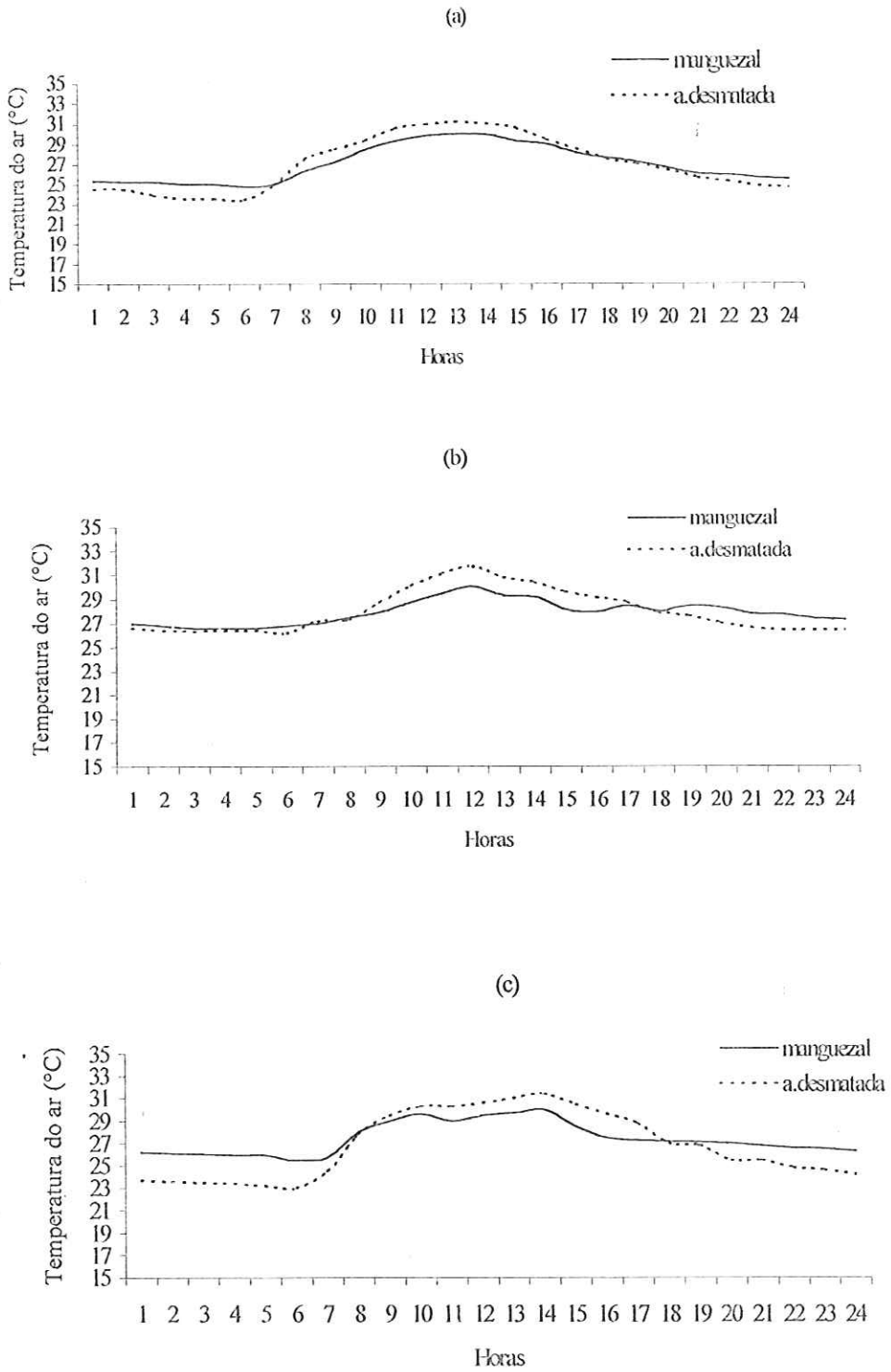


FIGURA 34 – Variação média horária da temperatura do ar nos períodos de: (a) 13 a 17/05/97, (b) 17 a 20/06/97, (c) 25 a 27/10/97.

O ecossistema do manguezal possui um metabolismo que é dependente de um balanço térmico diferente daquele observado na área desmatada. A absorção das radiações, principalmente no espectro infravermelho foi mais evidenciado no período noturno, quando o manguezal manteve temperaturas mais elevadas que a área desmatada. Assim, o manguezal tem a capacidade de reter mais as perdas radiativas em ondas longas, devido especialmente, à emissão de energia que é armazenada na biomassa e à concentração de vapor d'água abaixo do dossel, enquanto na área desmatada, geralmente ocorre maiores perdas radiativas.

5.11.4 Déficit de umidade específica

Na análise do déficit de umidade específica diário (FIGURA 35), notou-se que, em ambas as áreas experimentais, o ar atingiu a saturação próximo ao amanhecer. Na área desmatada a redução do vento e o declínio da temperatura do ar, foram fatores importantes neste processo e, no manguezal, apesar das temperaturas mais elevadas à noite, os canais de drenagem e o solo constantemente úmido propiciaram um aumento na concentração de umidade, favorecendo a saturação do ar, com formação de nevoeiro, o qual dissipava-se logo após o amanhecer, com a elevação da temperatura do ar e saldo de radiação positivo.

As características mais comuns dos valores do déficit de umidade específica foram: os picos no início da tarde e um declínio a partir daí, até atingir valores mínimos no início da manhã. Percebeu-se que na estação chuvosa (13 a 17/05/97) o ar atingiu a saturação em ambos os locais antes da meia noite, mas somente após este horário no final da estação chuvosa (17 a 20/06/97) e durante a estação seca (25 a 27/10/97).

Em geral, no curso diário, o déficit de umidade no ar foi sempre mais elevado na área desmatada, atingindo um pico de 9,8 g kg^{-1}, enquanto no manguezal o pico foi de 6,2 g kg^{-1}, em maio, com os valores máximos equivalentes a 10,3 g kg^{-1} (área

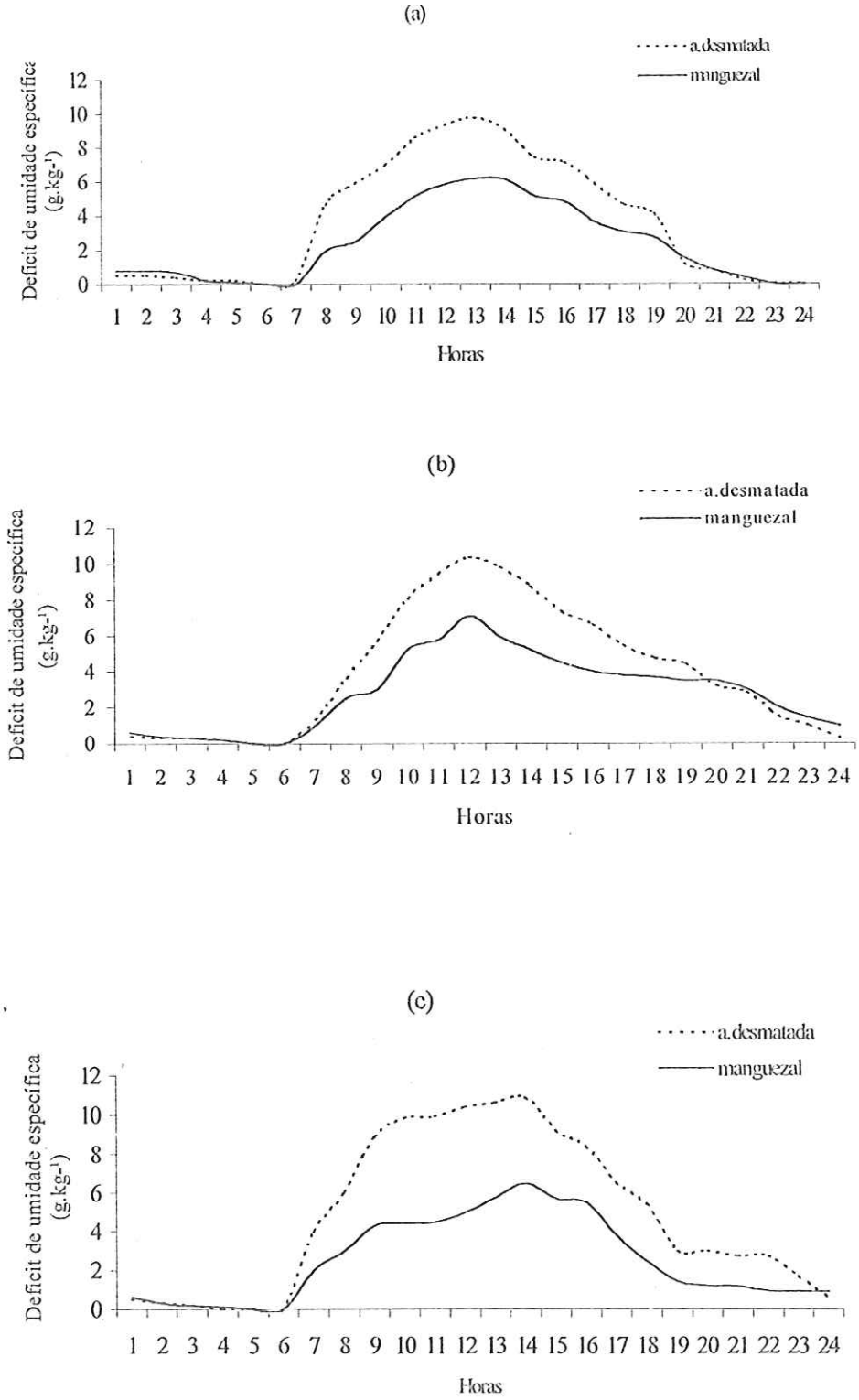


FIGURA 35 – Variação média horária do déficit de umidade específica nos períodos de: (a) 13 a 17/05/97, (b) 17 a 20/06/97, (c) 25 a 27/10/97.

desmatada e 7,1 g kg^{-1}, no manguezal, em junho, e 10,9 g kg^{-1} (área desmatada), com 6,5 g kg^{-1} (manguezal), na campanha de outubro.

Ficou caracterizada uma maior disponibilidade de umidade no ar durante a estação chuvosa na área desmatada e no manguezal em seu estado natural, em comparação com a estação seca, assim como, constatou-se uma maior concentração de umidade no ar no manguezal em relação à área desmatada, o que mostra o importante papel do solo, canais de drenagem e vegetação na manutenção do ciclo higrométrico diário, o qual é de fundamental importância nos processos biológicos do manguezal, que por sua vez realiza o importante papel de transporte de vapor d'água para a atmosfera. Vale ressaltar que durante as campanhas experimentais não houve ocorrência de precipitação.

"Analisando fisicamente as conseqüências do desmatamento no microclima do manguezal, é possível sugerir que o desmatamento pode ocasionar.um aumento do calor sensível sendo transportado para o meio ambiente, e consequentemente, uma redução na evapotranspiração. Além disso, a remoção da cobertura vegetal, favorece o aumento da insolação e a exposição do solo à precipitação direta sobre a superfície, cujo resultado, implica em endurecimento, erosão e pulverização do solo. Estes fatores, associados com o aumento da evaporação direta do solo exposto, causam aridez, o que , no conjunto final de inter-relações, implica em um retardamento na regeneração das espécies vegetais, características do manguezal."

Estas sugestões, tem por base, justamente as estimativas e medidas realizadas neste trabalho, as quais também são notadas em estudos realizados na Floresta Amazônica. O manguezal, é comparativamente, um ecossistema menor, mas as características de impacto ambiental, ao nível da micrometeorologia, são parecidos, exceto nas distribuições das espécies da flora e fauna, altura, arquitetura e adensamento da vegetação e a nível de solo, as condições estruturais e hídricas do terreno alagadiço do manguezal.

As TABELAS 2 e 3, apresentam os valores de temperatura e déficit de umidade específica, respectivamente, com valores máximos, médios, mínimos, amplitudes e médias diurnas e noturnas, para os períodos estudados.

TABELA 2 – Valores máximos, médios, mínimos, amplitudes, médias diurnas (diurna - 7 às 18:00 h) e noturnas (noturna - 19 às 6:00 h) da temperatura do ar (°C) no manguezal e área desmatada (A.desmat.), durante as campanhas de 13 a 17/05/97, 17 a 20/06/97 e 25 a 27/10/97.

	13 a 17/05/97		17 a 20/06/97		25 a 27/10/97	
Valores	Manguezal	A.desmat.	Manguezal	A.desmat.	Manguezal	A.desmat.
Máximo	30,0	31,2	30,1	31,7	30,0	31,4
Médio	27,0	26,9	27,9	28,0	27,4	26,8
Mínimo	24,8	23,4	26,6	26,2	25,5	23,0
Amplitude	5,2	7,8	3,5	5,5	4,5	8,4
Diurna	28,3	29,1	28,5	29,4	28,4	29,3
Noturna	25,6	24,7	27,3	26,6	26,3	24,3

TABELA 3 – Valores máximos, médios, mínimos, amplitudes, médias diurnas (diurna - 7 às 18:00 h) e noturnas (noturna - 19 às 6:00 h) do déficit de umidade específica (g kg^{-1}) no manguezal e área desmatada (A.desmat.), durante as campanhas de 13 a 17/05/97, 17 a 20/06/97 e 25 a 27/10/97.

	13 a 17/05/97		17 a 20/06/97		25 a 27/10/97	
Valores	Manguezal	A.desmat.	Manguezal	A.desmat.	Manguezal	A.desmat.
Máximo	6,2	9,8	7,1	10,3	6,5	10,9
Médio	2,3	3,6	2,8	4,0	2,5	4,8
Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Amplitude	6,2	9,8	7,1	10,3	6,5	10,9
Diurna	4,0	6,6	4,6	7,3	4,4	8,3
Noturna	0,7	0,7	1,3	1,2	0,6	1,2

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

De acordo com os resultados apresentados neste trabalho, observou-se uma disponibilidade de radiação solar global sempre elevada no manguezal de Bragança, localizado na Região Equatorial, com valor máximo em outubro (950 $W.m^{-2}$) e mínimo em abril (650 $W.m^{-2}$). A radiação fotossinteticamente ativa que atinge a copa das árvores, ao penetrar no interior do manguezal, é bastante atenuada, com uma redução de 77% no nível de 15 m e 94% a 5 m de altura.

Na partição dos componentes do balanço de energia, para o período de 17 a 19/06/97, verificou-se que o saldo de radiação foi equivalente a 78% da radiação solar incidente, o fluxo de calor latente correspondeu a 69% do saldo de radiação, enquanto o fluxo de calor sensível representou 24 % do saldo de radiação.

O regime de precipitação no ano de 1997 pode ter sido influenciado pelo fenômeno El Niño, devido à redução das taxas de precipitação, estendendo a estação seca na região. Como comparação, de maio a novembro de 1997, os totais de precipitação equivaleram a apenas 13% da média acumulada em 18 anos de dados, no período de 1973 a 1990. Como esperado, houve um aumento da amplitude térmica durante a estação seca em comparação com a estação chuvosa, porém, em média a temperatura não oscilou muito, com variações na amplitude térmica entre 3,6 e 4,3°C.

As temperaturas do solo apresentam os mínimos valores a partir do momento em que o balanço de radiação passa de negativo a positivo, ou seja, no momento em que recomeça o armazenamento e transporte de energia solar em direção ao solo. Tais mínimos apresentam defasagem de cerca de uma hora de retardo, em relação aos valores mínimos de temperatura do ar, aumentando esta defasagem conforme aumenta a profundidade. O mesmo padrão foi notado para os

chega a suplantar as medidas a 2 e 5 cm de profundidade. O fluxo de calor no solo apresenta uma característica de direcionamento concernente ao aumento na taxa de aquecimento do solo no manguezal, pois à medida que a estação chuvosa encerra, ocorre uma elevação na amplitude do fluxo.

Na avaliação dos perfis da temperatura do ar, ficou clara a tendência à isotermia próximo ao pôr-do-sol, resultante da retenção de energia pela biomassa. Após às 8:00 h o gradiente de temperatura se estabelece e o comportamento mais comum é de ar mais fresco no estrato inferior do bosque, do que no estrato superior, sendo que, durante a noite, o ar no estrato mais aquecido do dossel começa a esfriar-se até atingir a isotermia novamente.

O perfis do déficit de umidade específica no interior do manguezal mostram uma estreita dependência desta variável com a temperatura do ar, sendo, portanto, controlados pelas mudanças de temperatura. Assim, os mínimos valores do déficit ocorreram em torno das 6:00 h e os máximos próximo às 14:00 h. A saturação do ar ocorreu freqüentemente às 6:00 h na altura de 2 m, propiciando a formação de nevoeiro e orvalho. Esta característica certamente é bastante influenciada pela disponibilidade de água no solo, plantas e canais de drenagem, associada às redução na temperatura e vento.

A predominância do vento foi de nordeste, com base em 2 925 registros de direção do vento realizados entre os meses de outubro e novembro de 1997. No estudo da velocidade do vento notou-se um aumento dos valores de vento medidos na estação seca em relação a estação chuvosa, cuja amplitude na altura de 22 m foi de 2,7 m s^{-1} em maio, aumentando para 3,7 m s^{-1} em junho, seguindo a mesma tendência no vento medido na altura de 27 m. A influência da rugosidade do dossel é também percebida na redução do vento a 22 m (2 m acima da altura média da copa das árvores), em comparação com o vento medido a 27 m. Este efeito indica turbulência mecânica oroginada pelo efeito de fricção, a qual é importante nos transportes de calor, umidade e gás carbônico, entre o dossel e a atmosfera.

A taxa média da evaporação medida no tanque classe A na região de pântano salgado, numa franja do manguezal, foi de 4,4 mm dia^{-1}. Este valor elevado está relacionado com a grande incidência de radiação solar na região. O coeficiente de

variação de 59,1% pode ser justificado pela influência de sistemas de meso-escala e escala local, que influenciam bastante nas taxas de evaporação, por transportarem vapor d'água para o ecossistema. Alguns dias após a ocorrência de precipitação foi observado uma aumento na taxa de evaporação, ocorrendo o inverso quando houve estiagem. Esta observação é importante, haja vista que grandes estiagens podem causar uma maior concentração de sal e dificuldade de regeneração das espécies, em especial nas áreas desmatadas.

Quanto ao armazenamento de energia, observamos que na área desmatada uma parte considerável da energia absorvida devido à insolação é conduzida para as camadas mais profundas, enquanto no manguezal em seu estado natural esta transferência é muito pequena. Esta condução e armazenamento de calor são gerados em função do elevado grau de aquecimento sobre a superfície na área desmatada devido a exposição à incidência direta da radiação solar, ao passo que no manguezal a quantidade de radiação que chega à superfície é bastante reduzida devido às múltiplas reflexões que ocorrem quando a radiação penetra no dossel até atingir a superfície. No manguezal, portanto, o solo é protegido da forte radiação e da maior perda de energia radiante. Na fase de perda líquida de energia do solo (ou seja, à noite) a direção do transporte de calor no solo se inverte. O calor armazenado durante o dia é conduzido de volta para a superfície do solo, a qual, durante a noite, tornara-se mais fria. Há, portanto, flutuações diurnas da temperatura na parte superior do solo até 20 cm de profundidade. De um modo geral, o solo atua como um tampão térmico no equilíbrio de calor de um habitat, absorvendo quantidades consideráveis de calor durante o dia com o propósito único de as liberar novamente à noite. Este processo torna-se mais acentuado quando o manguezal é desmatado.

O ecossistema manguezal possui um metabolismo que é dependente de um balanço térmico diferente daquele encontrado na área desmatada. A absorção da radiação infra-vermelha no manguezal foi mais evidenciada no período noturno, quando as temperaturas foram mais elevadas do que na área desmatada. A vegetação tem a capacidade de reter mais as perdas radiativas em ondas longas, devido, entre outros aspectos, especialmente ao armazenamento de energia na

EESC-USP Biblioteca CAMPUS DE S. CARLOS

biomassa e à concentração de vapor d'água abaixo do dossel, enquanto na área desmatada acontece maior perda radiativa.

Ao confrontarmos as informações adquiridas na área desmatada e no manguezal, intacto, identificamos uma das possíveis tendências a impacto ambiental, ou seja, a elevação da amplitude térmica. Esta característica pode ser percebida através do maior aquecimento durante o período diurno e maior resfriamento durante a noite, na área desmatada. Esta é uma forma de alteração no equilíbrio de energia.

A exposição à radiação solar direta na superfície da área desmatada causa um maior fluxo de calor sensível para a atmosfera (aquecimento da atmosfera) e uma redução considerável da evapotranspiração, o que já é o suficiente para gerar um microclima adverso à regeneração do ecossistema. Além disso, durante as precipitações intensas os solos descobertos são vulneráveis às enxurradas, que causam uma perda da camada superior do solo, com a conseqüente lixiviação dos nutrientes e do sal acumulado. Por outro lado, durante a estação seca, a escassez de chuvas causam uma maior concentração de sal no solo. Assim, os solos desmatados tendem a tornar-se compactados e pobres em termos de nutrientes e há também uma redução da salinização intersticial.

Pretendemos, a partir dos resultados obtidos e a base de dados que está sendo gerada, contribuir com as demais áreas de pesquisa do MADAM, como suporte às informações micrometeorológicas necessárias para a elaboração de um modelo ecológico proposto pela equipe de modelagem do MADAM.

Apesar da contribuição às pesquisas sobre microclima do manguezal, muitas dificuldades foram encontradas para desenvolver este trabalho, as quais podemos citar:

1) A estação meteorológica automática coletou dados durante todo o ano de 1997, porém, devido a problemas operacionais como ruptura da cúpula do saldo radiômetro, pane nos sensores de velocidade do vento, precipitação e umidade relativa do ar, só foi possível utilizarmos 50% do total de sensores instalados;

2) Em função da demora no conserto ou reposição dos sensores, o balanço de energia, objetivo primordial deste trabalho, ficou prejudicado em parte, sendo estimado apenas para os dias 17, 18 e 19 de junho de 1997;

3) A dificuldade de acesso às informações ecofisiológicas atrasou o andamento do trabalho e a falta de recursos financeiros, inviabilizou a realização de mais campanhas experimentais, carência notada principalmente na estação chuvosa da região.

Como sugestões para o prosseguimento e aperfeiçoamento deste estudo sugere-se:

1) Instalar sensores de saldo de radiação, radiação solar refletida e radiação solar global em vários níveis da altura em torno do mangue.

2) Aperfeiçoar o sistema de medidas de temperatura do dossel, de modo a medir mais efetivamente áreas de maior densidade foliar,

3) Trabalhar de forma multidisciplinar, envolvendo profissionais de outras áreas de conhecimento, em especial que envolva instrumentação aperfeiçoada para medição dos parâmetros fisiológicos da vegetação;

4) Para caraterizar as resistências estomáticas utilizar instrumentação mais moderna e maior amostragem das espécies predominantes (*Rhizophora mangle*, *Aviccenia germinans* e *Laguncularia racemosa*);

5) Instrumentação adequada para determinação da condutibilidade térmica no solo em manguezais, levando-se em consideração a umidade do solo e os períodos de inundação das marés;

6) Inclusão dos efeitos da nebulosidade no cálculo do balanço de energia nos dias sem precipitação;

7) Monitoramento e operacionalização dos dados por um longo período de tempo para constatação e comparação dos resultados obtidos;

8) Instalação de instrumentação adequada, inclusive torre micrometeorológica na estação meteorológica automática na área desmatada.

As perspectivas futuras na área de micrometeorologia de manguezais, tem por base principalmente:

1) Foi dado o passo inicial com a elaboração de um banco de dados dos elementos micrometeorológicos aqui apresentados e resultados preliminares analisados e discutidos;

2) Adquiriu-se uma estação meteorológica automática dotada de maior variedade de sensores e com manutenção freqüente para evitar falhas instrumentais;

3) Há um maior investimento por parte de projetos de grande porte no estudo dos manguezais, com coleta intensiva de dados desde o ano de 2001, com perspectiva de duração de cinco anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALADOS, I.; FOYO-MORENO, I.; ALADOS-ARBOLEDAS, L. (1996). Photosyntethically active radiation: measurements and modelling. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.78, p.121-31.

ARYA, S.P. (1988). *Introduction to micrometeorology*. London, Academic Press.

BAGNOULS, F.; GAUSSEN, H. (1953). Saison sèche et indice xérotermique. *Document pour le cartes de production végétal*. V.3, p.1-47.

BALLS, P.W.; MACDONALD; PUGH, K.B.; EDWARDS, A.C. (1997). Rainfall events and their influence on nutrient distributions in the Ythan estuary (Scotland). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v.44 (supplement A), p.73-81.

BASTABLE, H.G.; SHUTTLEWORTH, W.J.; DALLAROSA, R.L.G.; FISCH, G.; NOBRE, C.A. (1993). Observations of climate, albedo and surface radiation over cleared and undisturbed Amazonian Forest. *International Journal of Climatology*, v.13., n.7, p.783-96, Nov.

BLASCO, J.F. (1984). Climatic factors and the biology of mangrove plants. In: THE MANGROVE ECOSSYSTEM: RESEARCH METHODS. Paris, UNESCO. P.20-35.

BRITTON, C.; DODD, J.D. (1976). Relationships of photosynthetically active radiation and shortwave irradiance. *Agricultural Meteorology*, v.17, p.1-7.

BRUTSAERT, W. (1975). On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies. *Water Resources Research*, v.11, p.742-44.

CHAPMAN, V.J. (1977). *Ecossystems of the world: wet coastal ecossystems*. New York, Elsevier.

COLLATZ, G.J.; BALL, T.; GRIVET, C.; BERRY, J.A. (1991). Physiological and environmental regulation of stomatal conductance, photosynthesis and transpiration: a model that includes a laminar boundary layer. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.54, n.1-2, p.107-36, Apr.

DICKINSON, R.E. (1984). Modeling evapotranspiration for three-dimensional global climate models. In: HANSEN, J.E.; TAKAHASHI, T. eds. *Climate processes and climate sensitivity*. Washington, American Geophysical Union, p.58-72.

DOLMAN, A.J.; GASH, J.H.C.; ROBERTS, J.; SHUTTLEWORTH, W.J. (1991). Stomatal and surface conductance of a tropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.54, n.1-2, p.303-18, Apr.

EHLERINGER, J.; FORSETH, I. (1980). Solar tracking by plants. *Science*, v.210, n.5, p.1094-98, Dec.

FEDERER, C.A. (1968). Spatial variation of net radiation, albedo and surface temperature of forest. *Journal of Applied Meteorology*, v.7, p.789-95.

GRACE, J. (1983). Plant atmosphere relationship. In: GIMINGHAM, D. *Outline studies in ecology*. London, Chapman and Hall. 85p.

HAMILTON, L.S.; SNEDAKER, S.C., (1984). *Handbook for mangrove area management*. Environmental and Policy Institute East-West Center/International Union for the Conservation of Nature Resources; UNESCO.

HARRISON, S.J.; PHIZACKLEA, A.P. (1987b). Vertical temperature gradients in muddy intertidal sediments in the Forth estuary, Scotland. *Limnology & Oceanography*, v.32, p.954-61.

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

HERZ, R. (1998b). *Manguezais do Brasil.* São Paulo, Universidade de São Paulo/ Instituto Oceanográfico, CIRM.

HOLLINS, S.; RIDD, P.V. (1997). Evaporation over a tidal salt flat. *Mangroves and Salt Marshes.* v.1, p.95-102.

HORTON, R.; WIERENGA, P.J. (1983). Estimating the soil heat flux from observations of soil temperature near the surface. *Soil Science Society American Journal*, v.47, p.14-20.

HORTON, R.; WIERENGA, P.J.; NIELSEN, D.R. (1983). Evaluation of methods for determing the apparent thermal diffusivity of soil near the surface. *Soil Science Society American Journal*, v.47, p.25-32.

HOWELL, T.A.; MEEK, D.W. (1983). Relationship of photosynthetically active radiation to shortwave radiation in the San Joaquin Valley. *Agricultural Meteorology*, v.28, p.157-75.

LARCHER, W. (1986). *Ecofisiologia vegetal.* São Paulo, EDUSP.

LUGO, A.E.; SNEDAKER, S.C. (1975). Properties of a mangrove forest in southern Florida. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOLOGY AND MANAGEMENT OF MANGROVES, v.1, p.170-212.

LUNDGARDH, H. (1966). *Plant physiology.* New York, Elsevier.

MARQUES DA SILVA, N.S.; CARVALHO, E.A.; MELLO, C.F. (1997). Levantamento preliminar das angiospermas do manguezal da estrada de Ajuruteua, município de Bragança (PA). In: WORKSHOP INTERNACIONAL DO PROGRAMA MADAM, 3., Belém, 1997. *Resumos.* Pará, UFPA. v.1, p.3.

MASSMAN, W.J. (1992). Correcting errors associated with soil heat flux measurements and estimating soil thermal properties from soil temperature and heat flux plate data. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.59, p.246-66.

MEEK, D.W.; HATFIELD, J.L.; HOWELL, T.A.; IDSO, S.B.; REGINATO, R.J. (1984). A generalized relationship between photosynthetically active radiation and solar radiation. *Agronomy Journal*, v.76, p.939-45.

MYERS, V.I. (1983). Remote sensing application in agriculture. In: COLWELL, R.N., ed. *Manual of remote sensing*. Falls Church American Society of Photogrammetry, p.2111-2228.

MOSS, R.A.; LOOMIS, W.E. (1952). Absortion spectral of leaves in the visible spectrum. *Plants physiology*, v.27, p.370-91.

NICHOLS, W.D. (1992). Energy budgets and resistances to energy transport in sparsely vegetated rangeland. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.60, n.3-4, p.147-221, Aug.

NORMAN, J.M. (1979). Modeling the complete crop canopy. In: BARFIELD, B.J.; GERBER, J.F. *Modification of the aerial environment of plants*. St. Joseph, MI, American Society of Agricultural Engineers. Cap.3, p.249-77.

PEARMAN, G.I. (1966). The reflection of visible radiation from leaves of some western australian species. *Australian Journal of Biological Sciences*. v.19, p.97-103.

PICCOLO, M.C.; PERILLO, G.M.E.; DABORN, G.R. (1993). Soil temperature variations on a tidal flat in Minas Basin, Bay of Fundy, Canada. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v.35, p.345-57.

RABINOWITCH, E.I. (1951). Photosynthesis and related processes. *Interscience*. New York, v.2.

RIBEIRO, J.B.M.; ROCHA, E.J.P.; OLIVEIRA, L.S. (1995). Perfis micrometeorológicos na Floresta Amazônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., Campina Grande, 1995. *Anais*. Paraíba, SBA, v.1, p.333-35.

RIBEIRO, J.B.M. (1993). *Análise comparativa das características microclimáticas entre áreas de floresta e de pastagem na Amazônia*. Viçosa. 85p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa.

SAENGER, P; HEGERL, E.J. & DAVIE, J.D.S. (1977). Global status of mangrove ecosystems. *The Environmentalist*, v.3, p.1-88.

SANTOS ALVALÁ, R.C. (1993). *Estudo da partição de energia em terrenos complexos (áreas desflorestadas e florestas)*. São José dos Campos. 149p. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

SANTOS ALVALÁ, R.C.; GIELOW, R.; WRIGHT, I.R.; HODNETT, M.G. (1996). Thermal diffusivity of Amazonian soils. In: GASH, J.H.C. et al. *Amazonian deforestation and climate*. England, Institute of Hydrology, John Wiley & Sons Ltd., Cap.7, p.139-50.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. (1995). *Manguezal – ecossistema entre a terra e o mar*. São Paulo, Caribbean Ecological Research.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; VALE, C.C.; COELHO Jr, C.; CASTRO, P.M.G.; SOUTO, M.A. (1997). Manguezal como indicador biológico para mudanças globais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 7. FÓRUM LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 1., Curitiba, 1997. *Anais*. Paraná, Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geografia, p.319-25.

SHUTTLEWORTH, W.J.; GASH, J.H.C.; LLOYD, C.R.; MOORE, C.J.; ROBERTS, J.; MARQUES FILHO, A.O.; FISCH, G.; SILVA FILHO, V.P.; RIBEIRO, M.N.G.; MOLION, L.C.B.; SÁ, L.D.A.; NOBRE, C.A.; CABRAL, O.M.R.; PATEL, S.R.; MORAES, J.C. (1984). Observations of radiation exchange above and below Amazonian forest. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. v.110, n.466, p.1143-62, Oct.

SIKORA, E.; GUPTA, S.C.; KOSSOWSKI, J. (1990). Soil temperature predictions from a numerical heat-flow model using variable and constant thermal diffusivities. *Soil and Tillage Research*, v.18, p.27-36.

SILVA, J.F & HERZ, R. (1987). 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. SÍNTESE DOS CONHECIMENTOS. Cananéia, 1987. São paulo,

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

SNEDAKER, S.C. (1982). Mangrove species zonation: why? In: SEN.C.N; RAIPURDHIT, K.S. *Tasks for vegetation science, the Hague*. p.25-111.

STEINKE, T.D.; NAIDOO, G.; CHARLES, L.M. (1983). Degradation of mangrove leaf and stem tissues *in situ* in Mgeni estuary, South Africa. *Taskes for Vegetation Science*. v.1, p.141-9.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. (1955). *The water balance*: publications in climatology. New Jersey, Drexel Institute of Technology.

TOMLINSON, P.B. (1986). 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.

VISWANADHAM, Y.; MOLION, L.C.B.; MANZI, A.O.; SÁ, L..D.A.; SILVA FILHO, V.P.; ANDRÉ, R.G.B.; NOGUEIRA, J.L.M.; SANTOS, R.C. (1990). Micrometeorological measurements in Amazonian forest during GTE/ABLE 2A Mission. *Journal of Geophysical Research*, v.95, p.13669-682, Aug.

WAFAR, S.; UNTAWALE, A.G.; WAFAR, M. (1997). Litter fall and energy flux in a mangrove ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v.44, p.111-24.

WALTER, H.; LIETH, H. (1987). Klimadiagramm weltatlas. *Veb Gustav Fishervelag*, v.2, p.10-20.

WOLANSKI, E. (1986). An evaporation-driven salinity maximum zone in Australian tropical estuaries. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. v.22, p.415-24.

WRIGHT, I.R.; GASH, J.H.C.; ROCHA, H.R.; SHUTTLEWORTH, W.J.; NOBRE, C.A.; MAITELLI, G.T.; ZAMPARONI, C.A.G.P.; CARVALHO, P.R.A. (1992). Dry season micrometeorology of central amazonian ranchland. *Quaterly Journal of Royal Meteorological Society*, v.118., n.508, p.1083-1100, Oct.

ZHANG, H., HENDERSON-SELLERS, A., McGUFFIE, K. (1996). Impact of a tropical deforestation. Part I: process analysis of local climatic change. *Journal of Climatology*, v.9, p. 1497-1517.

OBRAS CONSULTADAS

ADAIME, R.R. (1985). *Produção do bosque de mangue da gamboa Nóbrega (Cananéia, 25°S)*. São Paulo. 305p. Tese (Doutorado) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.

ALVES, A.V; SILVA, B.B.; AZEVEDO, P.V. (1998). Estimativa dos valores do albedo em função do ângulo de elevação do sol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., Brasília, 1998. *Anais*. Distrito Federal, SBMET. v.1, p.1-3.

AVELINE, L.C. (1980). Fauna dos manguezais brasileiros. *Revista Brasileira de Geografia*, v.4, n.42, p.786-821.

AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B.; RODRIGUES DA SILVA, V.P.; SOARES, J.M.; CASTRO TEIXEIRA, A.H.; LOPES, P.M.O.; SOBRINHO, J.E. (1999). Avaliação do índice de área foliar da mangueira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., Florianópolis, 1999. *Anais*. Santa Catarina, SBA. V.1, p.2286-90. CD ROM 8/12.

BATSCHELET, E. (1978). *Introdução à matemática para biocentistas*. Rio de Janeiro. Interciência/São Paulo, EDUSP.

BRUIN, H. A. R.; HOLTSLAG, A.A.M. (1982). A simple parameterization of the surface fluxes of sensible and latent heat during daytime with the Penman-Monteith concept. *Journal of Applied Meteorology*, v.21, p.1610-1621.

BRUTSAERT, W.; SUGITA, M. (1991). A bulk similarity approach in the atmospheric boundary-layer using radiometric skin temperature to determine regional surface fluxes. *Boundary-Layer Meteorology,* v.55, n.1-2, p.1-23, Apr.

BUENO, A.M.; GIELOW, R; SANTOS ALVALÁ, R.C. (1998). Análise de sensibilidade da estimativa da partição de energia sobre áreas de floresta e de pastagem na Amazônia central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., Brasília, 1998. *Anais*. Distrito Federal, SBMET. v.1.

CAMARGO, T.M. (1986). Fauna do manguezal. In: SCHAEFFER-NOVELLI, Y; CINTRON, G. *Guia para estudo de áreas de manguezal*. São Paulo, Caribbean Ecological Research, 150 p.

CAMPECHE, L.F.S.M.; SILVA, F.C.; FOLEGATTI, M.V. (1999). Análise da variação da resistência de dossel (rc) no modelo de Penman-Monteith. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., Florianópolis, 1999. *Anais*. Santa Catarina, SBA. v.1, p.2274-80. CD ROM 8/12.

COSTA, J.P.R.; MORAES, J.C.; ROCHA, E.J.P. (1995). Estimativa da interceptação em floresta tropical úmida amazônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., Campina Grande, 1995, *Anais*. Paraíba, SBA. v.1, p.170-72.

DE LEEUW, J.; VAN DEN DOOL, A; DE MUNCK, W.; NIEUWENHUIZE, J.; BEEFTINK, W.G. (1991). Factors influencing the soil salinity regime along na intertidal gradient. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, v.32, n.1, Jan.

DIEGUES, A.C.S. (1996). *Ecologia Humana e Planejamento em Áreas Costeiras*. São Paulo, NUPAUB-USP.

DOORENBOS, J. (1976). Agrometeorological field stations. *Food and Agriculture Organization of United States*. Rome, 94p.

FEDERER, C.A. (1979). A soil plant-atmosphere model for transpiration and availability of soil water. *Water Resources Research*, v.3, n.15, p.555-62, June.

FRANKEN, W.; LEOPOLDO, P.R.; MATSUI, E.; RIBEIRO, M.N.G. (1992). Estudo da interceptação da água da chuva em cobertura florestal amazônica do tipo terra firme. *Acta Amazônica*, v.12, p.327-31.

GALVÃO, J.A.C.; FISCH, G. (1998). Análise do balanço de energia em áreas de floresta e de pastagem na Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., Brasília, 1998. *Anais*. Distrito Federal, SBMET. v.1.

GASH, J.H.C., WRIGHT, I.R.; LLOYD, C.R. (1980). Comparative estimates of interception loss from tree forest in Great-Brethain. *Journal of Hidrology*. v.48, p.89-105.

HANAN, S.A.; BATALHA, B.H.L. (1995). *Amazônia – contradições no paraíso ecológico*. São Paulo, Cultura Editores Associados Ltda.

HARRISON, S.J.; MORRISON, P. (1993). Temperatures in a sandy beach under strong solar heating: Patara beach, Turkey. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. v.37, p.89-97.

HICKS, B.B.; McMILLEN, R.T. (1988). On the measurement of dry deposition using imperfect sensors an in non-ideal terrain. *Boundary-Layer Meteorology*, v.42, n.1-2, p.79-94, Jan.

HUISKES, A.H.L. (1990). Expected effects of climatic change on marine coastal ecosystems. In: BEUKEMA, J.J. et al. *Development in Hidrobiology*. Netherlands, Kluwer Academic Publishers. v.57, p.167-72.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. Instituto Nacional de Meteorologia. (1992). *Normais Climatológicas (1961-1990)*. Brasília.

JACQUEMIN, B.; NOILHAN, J. (1990). Sensitivity study and validation of a land-surface parameterization using the Hapex-Mobilhy data set. *Boundary-Layer Meteorology*, v.52, n.1-2, p.93-134, July.

JEHN, K.H.; JEHN, M.S. (1979). Beach atmosphere. *Weather*. v.34, p.223-32.

JOÃO, J.J.S.; MONTES, R. (1988). Rainfall partitioning by a semideciduous forest grove in the savanas of the Orinoso Llanos, Venezuela. *Journal of Hidrology*, v.132, p.277-294.

JONES, H.G. *Plant and microclimate*. Cambridge, Cambridge University Press.

LLOYD, C.R.; MARQUES, A.O. (1988). Spatial variability of troughfall measurements in amazonian rainforest. *Agriculture Forest Meteorology*, v.43, p.385-396.

LONG, B.G.; SKEWES, T.D. (1996). A technique for mapping mangroves wiht landsat. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, v.43, n.3, Sept.

MATTOS, K.M.C.; GONÇALVES, M.G.M.; BARBIERI, V. (1998). Estimativa da emissividade atmosférica e do balanço de ondas longas em Piracicaba, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., Brasília, 1998. *Anais*. Distrito Federal, SBMET. v.1.

MEHLIG, U. (1999). Aspectos da produção primária nos manguezais de Bragança. MADAM Project – In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF MADAM PROJECT, 5, Belém, 1999. *Resumos*. Pará, UFPA. v.1, p.66-67.

MEDEIROS, C.; KJERFVE, B. (1993). Hidrology of a tropical estuarine system: Itamaracá, Brazil. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, v.36, n.5. May.

MILTHORPE, F.L.; MOORBY, J. *An introduction to crop physiology*. 2 ed. 233p. 1979.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Departamento Nacional da Produção Mineral (1978). *Projeto RADAMBRASIL*. v.20, p.628.

MITSCH, W.J.; GOSSELINK, J.G. (1993). *Wetlands*. USA, Van Nostrand Reinhold.

MONTEITH, J.L. (1973). *Principles of environmental physics*. New York, American Elsevier Publishing Company.

MOORE, C.J. (1974). *A comparative study of forest and grassland micrometeorology*. Thesis (Ph.D.) – The Flinders University of South Australia.

OGATA, M.G. (1995). Macrozoneamento costeiro: aspectos metodológicos. Brasília, D.F. MMA/PNMA/PNGC. 26p.

PERIA, L.C.S.; FERNANDES, P.P.C.P.; MENEZES, G.V.; GRASSO, M. & TOGNELLA, M.M.P. (1990). Estudos estruturais comparativos entre bosques de mangue impactados e (Canal da Bertioga) e não impactados (Ilha do Cardoso), Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA: ESTRUTURA, FUNÇÃO E MANEJO, ÁGUAS DE LINDÓIA, 2.,São Paulo, 1990. *Anais*. São Paulo, Academia de Ciências do Estado de São Paulo. v.2, p.183-93.

PERNETTA, J.C. (1993). *Mangrove forests climate change and sea level rise: hidrological influences on comunity and survival, with examples from Indo-West Pacific*. A Marine Conservation and Development Report. Gland, Switzerland, IUCN.

PIRES, J.O. (1992). *Monitoramento de manguezais através da correlação de dados de fitomassa e de radiância (TM/LANDSAT): exemplo APA-Guapimirim (RJ)*. Campinas. 172p. Tese (Doutorado) – Universidade de Campinas.

POR, F.D.; DOR, I.. (1984). *Hydrobiology of the Mangal: developments in hydrobiology*. Netherlands, Dr. W. Junk Publishers.

REISE, A. Forest structure, litter production and turnover in basin/fringe mangroves of north Brazil. (1999). In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF MADAM PROJECT, 5, Belém, 1999. *Resumos*. Pará, UFPA. v.1, p.74-75.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. *Manguezais brasileiros*: uma bibliografia (1614-1986). São Paulo, Instituto Oceanográfico Universidade de São Paulo, 1986.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRON-MOLERO, G. (1991). *Mangroves as an integreted ecosystem*: In: A Global Network of Mangrove Genetic Resource Centres, M. S. Swaminathan Resource Foundation, Madras, India. 132p.

THORNTHWAITE, C.W. (1948). An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review*, n.38, p.55-94.

TULLER, S.E. (1972). Energy balance and microclimatic variations on a coastal beach. *Tellus*, v.24, p.260-70.

WARD, A.D.; ELLIOT, W.J. (1995). *Environmental Hydrology*. Lewis Publishers.

WHATLEY, J.M.; WHATLEY, F.R. (1982). *A luz e a vida das plantas*. São Paulo, Editora Pedagógica Universitária-EDUSP.

WHITTAKER, V. (1953). Consideration of climate theory: the climax as a population and pattern. *Ecological Monograph*. v.23, p.41-78.

WOLANSKI, E. (1986). An evaporation-driven salinity maximum zone in Australian tropical estuaries. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. v.22, p.415-24.

GLOSSÁRIO

ABIÓTICO: (i) dos compostos que formam o meio, a parte que não é viva. (ii) componente do ecossistema que não inclui os seres vivos. (iii) substrato físico sem seres vivos. *Ver pág. x.*

ABSORÇÃO: *de energia radiante.* Retirada de radiação de um feixe de radiação solar ou terrestre, convertendo-a em outra forma de energia (elétrica, química ou térmica).

ATMOSFERA: Camada gasosa que envolve a Terra (78% N; 21% O_2; 0,9% Ar; 0,033% CO_2; 0 a 4% vapor d'água). Sua concentração diminui acentuadamente com a altitude. Divide-se em troposfera, estratosfera, termosfera e mesosfera.

ALBEDO: Relação entre a quantidade de radiação solar refletida por uma superfície e a radiação solar incidente sobre ela, expressa em porcentagem. O albedo do sistema Terra-atmosfera, por exemplo, é estimado em cerca de 30%.

ÁLICO: Denominação empregada para especificar "saturação com alumínio trocável" no solo igual ou superior a 50%, calculada pela expressão: $100.Al^{3+}/(Al^{3+} + S)$, onde S = soma de cátions básicos trocáveis. Normalmente Al^{3+} representa a acidez extraída por solução neutra de KCl 1N.

ÁREA: Superfície ocupada por uma comunidade ou táxon.

ÁREA NATURAL: Espaço da natureza que mantém preservadas as suas características ecológicas, históricas e culturais, sem agressão antrópica evidente.

ANTRÓPICO: Tudo que resulta das ações humanas.

ASPECTO: (i) Mudança estacional numa comunidade, por exemplo, seu aspecto no verão. (ii) Mudança estacional da dominância que marca o caráter da vegetação.Sin. *fase.*

BALANÇO TÉRMICO: Equilíbrio que existe, em média, entre a radiação solar recebida e a emitida pela terra e atmosfera. Sin. *balanço de calor.*

BALANÇO DE ENERGIA: (i) Equação que relaciona o fluxo de radiação em uma parte da superfície da Terra, ao calor perdido ou ganho por condução para/ou de uma camada abaixo. O calor é perdido ou ganho para/ou da atmosfera, por processos de difusão molecular, e a perda ou ganho da superfície, por evaporação ou condensação. (ii) Fluxo de ganho, perda e armazenamento de energia por um organismo, população ou ecossistema.

BALANÇO HÍDRICO: Relação entre evaporação (E), precipitação (P), escoamento superficial (R) e a variação no armazenamento de água no solo (AS), numa determinada área da Terra, num certo tempo; é expresso pela equação P = E + R + AS, onde AS pode ser positivo ou negativo.

BIODIVERSIDADE: (i) Abrangência de todas as espécies de plantas, animais e microorganismos, e dos ecossistemas e processos ecológicos dos quais são parte. Grau de variedade da natureza, incluindo número e frequência de ecossistemas, espécies ou gens, numa dada assembléia. Geralmente considera-se três níveis: diversidade genética, diversidade em espécies e diversidade de ecossistemas. (ii) É a variabilidade genética que existe na biosfera, ou seja, nos organismos vivos existentes em nosso planeta. Compreende também a grande variação genética que normalmente existe no âmbito de cada espécie. É exatamente essa variação intra-específica que permite que a evolução se processe entre formas semelhantes. Sin. *diversidade biológica.*

BIOGEOGRAFIA: Estudo multidisciplinar, centrado numa perspectiva ecológica, que analisa a distribuição espacial, atual e passada, de plantas e animais, levando em consideração fatores histórico-causais.

BIOMASSA: Somatória da massa orgânica viva existente num determinado espaço, num dado instante. Pode ser expressa em peso úmido ou seco, por unidade de área ou volume. Normalmente, autores usam os termos em inglês "standing stock" e "standing crop" para se referir às biomassas, animal e vegetal, respectivamente. Sin. *produto em pé, "standing stock", "standing crop".*

BIOSFERA: Sistema integrado de organismos vivos e seus suportes, compreendendo o envoltório periférico do planeta Terra, com a atmosfera circundante estendendo-se para cima e para baixo, até onde exista naturalmente qualquer forma de vida.

BIOTA: Conjunto de plantas, animais e microorganismos de uma determinada região, província ou área biogeográfica. Ex. biota amazônica, biota dos lhanos, biota patagônica.

CADEIA ALIMENTAR: Relação trófica que ocorre entre os seres vivos que compõem um ecossistema, mediante a qual a energia de um organismo se transfere ao outro. A cadeia alimentar começa por organismos produtores que obtêm a energia necessária do Sol, e/ou das substâncias minerais simples. Em seguida, envolve consumidores de várias ordens. Sin. *cadeia trófica.*

CICLO HIDROLÓGICO: Sucessão de fases percorridas pela água na natureza, ao passar da atmosfera à terra e vice-versa. Consiste de evaporação da água do solo, do mar, dos rios, lagos e represas; condensação para formar nuvens; precipitações; reacumulação no solo e diferentes massas de água; escoamento direto ou retardado para o mar, e reevaporação. O ciclo hidrológico pode ser perturbado pela entrada de gases e produtos químicos, originada por ações antrópicas (industriais), ocasionando chuvas ácidas.

CLASSES DE SOLO: Grupo ou divisão de solos em um determinado nível categórico de um sistema de classificação.

CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA: Divisão dos tipos de climas regionais segundo um conjunto de critérios, com ênfase em valores térmicos (De Martonne), ou em valores térmicos e ecológicos (Koeppen, Holdridge), ou ainda, com valores relacionados ao balanço precipitação-evapotranspiração (Thornthwaite), bem como da circulação ou dinâmica das massas de ar (Strahler). As classificações de Koeppen e Thornthwaite se completam, tendo utilização freqüente nos trabalhos de origem geo-ecológica, fito-ecológica, agrícola e meteorológica.

CLIMA: Sucessão habitual dos estados do tempo, em determinado local. O tempo é o quadro real das condições atmosféricas ocorrentes em um ou vários dias consecutivos, ao longo das estações do ano. Nos trópicos, a sucessão habitual dos tipos de tempo se faz sentir em duas grandes épocas definidas pela precipitação e nas regiões extratropicais pela temperatura.

COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO: Medida do grau de dependência entre duas variáveis quantitativas.

DEGRADAÇÃO: (i) Deterioração de substâncias por ação biológica. (ii) Processo de tornar um sistema mais simples ou pior.

DEGRADAÇÃO AMBIENTAL. Processo gradual de alteração negativa do ambiente, resultante de atividades humanas que podem causar desequilíbrio e destruição, parcial ou total, dos ecossistemas.

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: Conceito originado em 1968 na "Biosphere Conference", de Paris. Modelo de desenvolvimento que leva em consideração, além dos fatores econômicos, aqueles de caráter social e ecológico, assim como, as disponibilidades dos recursos vivos e inanimados, e as vantagens e os inconvenientes, a curto e a longo prazos, de outros tipos de ação. É um conceito difícil de implementar, dadas as complexidades econômicas e ecológicas das situações atuais. Nem as considerações econômicas, nem as ecológicas são unitárias, nenhuma leva a uma conclusão possível. Há fatores sociais, legais, religiosos e demográficos, que também interferem na aplicação de considerações e diretrizes ecológicas às finalidades e processos de desenvolvimento. Visa crescente bem estar no tempo. A renda per capita necessita crescer continuamente ou ficar constante no tempo. Implica em nossa atitude em relação às gerações futuras. Eticamente, não permite a uma geração posterior sofrer por causa de danos causados ao ambiente pela geração anterior. Em inglês, "*sustainable development*". Sin. ecodesenvolvimento.

DESMÀTAMENTO: Retirada por corte, capina, queimada (por fogo ou produtos químicos) da cobertura vegetal existente em determinadas áreas.

DESVIO PADRÃO: Medida da variação, dentro de um conjunto de dados, calculada como a raiz quadrada da variância. A faixa de ± 1 desvio padrão em torno da média da distribuição normal, engloba, aproximadamente, 68% das observações.

DIVERSIDADE: (i) Medida que considera tanto a riqueza em espécies, como o grau de igualdade em sua representação quantitativa. (ii) Riqueza em espécies: número absoluto de espécies em uma amostra, coleção ou comunidade. Sin. *heterogeneidade*. (iii) Condição de apresentar diferenças em relação a um dado caráter ou traço.

DOSSEL: Na estrutura da vegetação, é o estrato superior da formação vegetal da região, em uma visão coletiva. Camada de folhagem contínua de uma floresta, arvoredo ou cerradão, composta pelo conjunto das copas das plantas lenhosas mais altas. Aplicável, sobretudo, à vegetação mais fechada.

DRENAGEM: (i) Remoção do excesso de água do solo, pela superfície ou pelo fluxo interno, (ii) Perda de água do solo por percolação.

ECOSSISTEMA: (i) Sistemas naturais ou artificiais, limitados por um espaço físico, onde interagem fatores bióticos e abióticos, caracterizando determinadas estruturas e funções. (ii) Conjunto integrado de fatores físicos, ecológicos e bióticos, que caraterizam um determinado lugar, estendendo-se por um determinado espaço de dimensões variáveis. É uma totalidade integrada e sistêmica, que envolve fatores abióticos e bióticos, em sua funcionalidade e processos metabólicos. O ecossistema forma uma unidade fundamental do meio físico e biótico, em que coexistem e interagem uma base inorgânica e uma base orgânica, constituída por organismos vivos, gerando produtos específicos (manguezais, turfeira, brejo, floresta de terra firme, cerradões e pradarias, entre muitas outras). (iii) Espaço limitado, onde a ciclagem dos recursos através de um ou vários níveis tróficos é feita por agentes mais ou menos fixos, utilizando simultânea e sucessivamente, processos mutuamente compatíveis, que geram produtos utilizáveis a curto ou longo prazo. Sin. *biogeocenose*.

EQUILÍBRIO ESTÁVEL: Situação em que um sistema tende a retornar ao seu estado original, após uma pequena perturbação.

EROSÃO: Desgaste e/ou arrastamento da superfície da terra pela água acorrente, vento, gelo ou outros agentes físicos, incluindo processos como o arraste gravitacional.

ERRO PADRÃO: Desvio padrão de distribuição de amostragem de uma estatística. No caso da média de uma amostra, calcula-se por $SE = \sigma/\sqrt{n}$, onde σ é o desvio padrão das observações originais e n é o número de observações que constituem a média.

ESCOAMENTO SUPERFICIAL: Excesso de chuva que não é absorvida pelo solo e flui superficialmente. Em inglês: "*run-off*".

ESTABILIDADE: (i) Persistência da estrutura de um sistema (ecossistema, comunidade ou organismo) no decorrer do tempo. (ii) Habilidade das populações de suportar perturbações, sem mudanças marcantes na composição. (iii) Tendência de ficar ou retornar a um estado de equilíbrio.

ESTIMATIVA: Aproximação do valor de um parâmetro, calculado através de dados de amostragem.

ESTIMATIVA DO IMPACTO AMBIENTAL SOB PONTO DE VISTA DA METEOROLOGIA: Processo de realizar estudos preditivos, onde o objetivo é prever os efeitos dos impactos ambientais no tempo e no clima, decorrentes, principalmente das atividades antrópicas no meio ambiente

ESTOCÁSTICO: Que varia de uma forma não sistemática, ou seja, ao acaso em relação ao tempo.

ESTRATIFICAÇÃO TÉRMICA: Processo de aquecimento térmico, que tem como conseqüência a formação de camadas (gradientes verticais) com temperaturas diferentes na atmosfera, lagos, represas, águas costeiras ou oceânicas. A estratificação térmica estável por longo período, resulta no estabelecimento de quatro estratos verticais na atmosfera: troposfera, estratosfera, mesosfera e termosfera.

ESTRUTURA DO SOLO: Combinação ou arranjo das partículas primárias (areia, silte e argila) do solo em partículas secundárias, unidades ou " peds".

ESTUÁRIO: Corpo de água costeira, semifechado, que tem uma conexão com o mar aberto, influenciado pela ação das marés. No seu interior, a água do mar é misturada com a água doce proveniente de drenagem terrestre, produzindo um gradiente de salinidade.

EVAPORAÇÃO: Processo físico que consiste na mudança de fase do estado líquido para o estado de vapor. Pode ser efetuada a qualquer temperatura, e na qual a pressão dos vapores do líquido é inferior à pressão exercida sobre este. A evaporação das superfícies líquidas continentais e oceânicas é um fenômeno importante no ciclo hidrológico. Nas regiões semi-áridas, o excesso de evaporação em relação à precipitação, produz aumento na condutividade dos lagos.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO: Perda combinada de água de uma dada área, por evaporação através da superfície do solo e pela transpiração dos organismos, expressa em mm ou cm por dia.

EXTINÇÃO: (i) Processo de eliminação, como dos genótipos menos adaptados. (ii) Desaparecimento parcial ou total de uma espécie ou táxon de um dado habitat ou biota. Não exclui nova recolonização a partir de uma fonte próxima, quando a extinção for parcial..

FACULTATIVO: Capaz de desenvolver-se em diferentes condições ambientais.

FATOR ABIÓTICO: Aquele que caracteriza as propriedades físicas e químicas da biosfera. Sin. *abiótico, abiocem.*

FATOR CLIMÁTICO: Qualquer aspecto das condições predominantes de tempo que influenciam a biota de uma área.

FENOLOGIA: Estudo das relações dos processos biológicos periódicos com o clima. Ex. brotação, floração e frutificação em plantas; migração e reprodução em animais.

FLORESTA: Associação arbórea de grande extensão e continuidade. O "império da árvore" num determinado território dotado de condições climáticas e ecológicas para o desenvolvimento de plantas superiores. Não há um limite numérico de altura definido entre uma vegetação arbustiva e uma vegetação florestal. No Brasil, os cerradões, as matas de cipós e os jundús, que são florestas menos altas do país tem de 7 a 12 m de altura média. Em contraste, na Amazônia ocorrem florestas de 25 a 36 m de altura, com subbosque denso e indivíduos emergentes que atingem 40 – 45 metros (Polígono dos Castanhais).

FOTOSSÍNTESE: Processo em que um organismo transforma energia luminosa em energia de ligação química, utilizando água e gás carbônico e produzindo glicose e oxigênio. Além das clorofilas *a* e *b*, carotenóides, ficoeritrinas e ficocianinas são pigmentos que participam do processo.

FRANJA LITORÂNEA: Faixa de transição entre a região litorânea e o domínio terrestre, excepcionalmente atingida pelas marés mais altas.

FRENTE: Zona limite entre duas massas de ar ou água adjacentes, com diferentes propriedades, como densidade, pressão, temperatura ou salinidade.

FREQÜÊNCIA, distribuição de. i) Agrupamento de dados em classes, cada uma com sua freqüência de ocorrência. ii) Distribuição da porcentagem do número total de espécies de uma amostra em cinco classes de freqüência: 1-20, 21-40, 41-60, 61-80 e 81-100%.

GRADIENTE DE TEMPERATURA: Qualquer variação de temperatura no espaço.

GLEI: Cor cinzenta, com ou sem mosqueado encontrado em áreas permanentes ou intermitentemente encharcadas, nos solos hidromórficos gleizados, onde houve redução de ferro.

GLEISSOLO: Classe de solos minerais, hidromórficos, com horizonte glei dentro de 60 cm da superfície.

IMPACTO AMBIENTAL: Toda ação ou atividade, natural ou antrópica, que produz alterações bruscas em todo o meio ambiente ou apenas em alguns de seus componentes. De acordo com o tipo de alteração, pode ser ecológico, social e/ou econômico. Ex. efeitos resultantes da construção de uma represa, de erupções vulcânicas, de variações climáticas bruscas, derrame de petróleo, etc.

INFILTRAÇÃO: Processo pelo qual a água penetra no solo, influenciada pela sua textura, e cobertura vegetal.

INSOLAÇÃO: Exposição à radiação solar. A quantidade de insolação recebida varia com a constante solar, isto é, varia com a energia real emitida pelo Sol; porém a porcentagem de variação dessa constante é, na maioria das vezes, pequena. As mudanças nas condições de nebulosidade, poeira e umidade na atmosfera estão continuamente alterando a quantidade de energia radiante transmitida para a Terra.

INTERCEPTAÇÃO: Propriedade da cobertura vegetal interceptar a água da chuva incidente sobre uma área, impedindo que atinja diretamente o solo. É expressa em porcentagem, segundo a relação: (água de gotejamento/precipitação total) 100

INVERSÃO TÉRMICA: Condição em que uma camada de ar quente se sobrepõe a uma camada de ar frio, impedindo o movimento ascendente do ar atmosférico. Em locais

industrializados, a inversão térmica leva à retenção dos poluentes nas camadas mais baixas, podendo ocasionar problemas de saúde em muitos indivíduos.

LENÇOL FREÁTICO: Lençol aqüifero subterrâneo que se encontra em profundidade relativamente pequena.

LENÇOL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA: Corrente líquida subterrânea que ocorre sobre uma camada impermeável.

MANEJO: Aplicação de programas de utilização dos ecossistemas, naturais ou artificiais, baseada em teorias ecológicas sólidas, de modo que mantenha da melhor forma possível as comunidades vegetais e/ou animais como fontes úteis de produtos biológicos para o homem e, também como fontes de conhecimento científico e de lazer. A orientação de tais programas deve garantir que os valores intrínsecos das áreas naturais não sejam alterados para o desfrute das gerações futuras. O manejo correto exige primeiro o conhecimento profundo do ecossistema para o qual ele é aplicado. O manejo é dito de flora, de fauna, ou de solo quando a ênfase é dada aos recursos vegetais, animais ou ao solo. Quando todos os componentes do sistema têm a mesma importância, diz-se tratar de manejo ambiental.

MANGUE: (i) Comunidade dominada por árvores ditas mangues, dos gêneros *Rhizophora*, *Laguncularia* e *Avicennia*, que se localiza nos trópicos, em áreas justamarítimas sujeitas às marés. O solo é uma espécie de lama escura e mole. (ii) Cada uma das plantas dotadas de raízes-escoras, que aí vegetam.(iii) Vegetação característica de terrenos baixos, junto à costa, sujeito às inundações das marés, na quase totalidade constituído de vasas ou lamas de depósitos recentes.

MANGUE BRANCO: Nome vulgar dado à árvore da espécie *Laguncularia racemosa*.

MANGUE PRETO: Nome vulgar dado às plantas do gênero *Avicennia*.

MANGUE VERMELHO: Nome vulgar dado às plantas do gênero *Rhizophora*.

MANGUEZAL: Ecossistema costeiro tropical, dominado por espécies vegetais típicas (mangues), às quais se associam outros componentes vegetais e animais, adaptados a um solo periodicamente inundado pelas marés, com grande variação de salinidade. Constitui um dos esossistemas mais produtivos do planeta.

MANGUEZAL DEGRADADO: Área de corte parcial ou total, expondo o substrato escuro com troncos cortados ou pequenos arbustos de regeneração, de textura heterogênea, variando de aspecto conforme o estágio de degradação imposto ao ecossistema.

MEIO AMBIENTE: i) Conjunto de todas as condições e influências externas circundantes, que interagem com um organismo, uma população ou uma comunidade. ii) Conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas. Definição conforme a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, da Política Nacional do Meio Ambiente

METABOLISMO: i) Totalidade dos processos bioquímicos de síntese e de degradação de substâncias químicas nos organismos vivos. ii) Em Ecologia Energética é, às vezes empregado como sinônimo de respiração.

MICROCLIMA: Variação local de parâmetros climáticos, considerando-se pequenas áreas.

MICROMETEOROLOGIA: Ramo da Meteorologia que estuda os fenômenos meteorológicos em pequena escala.

MIXOHALINO: No sistema de classificação de águas salinas, é zona de salinidade situada em: ± 40; ± 30; ± 0,5.

ORVALHO: Gota d'água depositada por condensação do vapor d'água proveniente do ar, principalmente sobre as superfícies horizontais, resfriadas por radiação noturna com a queda da temperatura ambiente e distintas das gotas d'água provenientes da exudação pelas plantas.

PÂNTANO SALGADO: Terreno inundável, de pequena profundidade, em planícies costeiras ou planícies de inundação interiores, cujo fundo é mais ou menos lodoso e pouco consistente, cujo solo e água de inundação são ricos em sais dissolvidos. Os terrenos pantanosos no Brasil recebem preferentemente a designação de brejos, o seu conjunto espacial sendo designado por banhados, várzeas, vazantes.

PERENIFÓLIA: Planta lenhosa (arbustiva ou arbórea) que não perde suas folhas em épocas desfavoráveis. Sin. *sempre-verde*.

PERFIL DO SOLO: Seção vertical ou corte do solo através de todos os seus horizontes e estendendo-se para dentro do material de origem.

PREAMAR: Altura máxima que a maré atinge podendo ser determinada apenas pelas forças periódicas de marés, ou acrescida de efeitos meteorológicos. A linha da preamar é o limite superior do estirâncio. Sin. *maré alta, maré cheia.* Ant. *baixa-mar.*

PRECIPITAÇÃO: Queda de água líquida ou sólida das nuvens que se formam na atmosfera.

PRECIPITAÇÃO PLUVIAL: Queda de água, em forma de gotas e gotículas, a partir da condensação de vapor d'água na atmosfera. Componente básico das condições climáticas, abastecendo diretamente a vegetação e, indiretamente, os solos. Contribui para aumentar a umidade do ar, abastecer solos, injetar águas subterrâneas e alimentar cursos d'água perenes, intermitentes ou esporádicos. Essencial para a manutenção da continuidade do ciclo hidrológico e para o desenvolvimento e a continuidade dos processos biológicos. Sin. *chuva.*

PRESSÃO DE VAPOR: Pressão exercida pelo vapor d'água na atmosfera, confinado a um certo volume de ar, e que contribui para a pressão atmosférica.

PRESSÃO DE SATURAÇÃO DE VAPOR: Valor máximo que pode atingir a pressão de vapor d'água no ar, a uma dada temperatura. Pressão de vapor quando o ar está saturado.

PSICRÔMETRO: Instrumento utilizado para medida da temperatura e umidade relativa do ar, mediante a diferença de temperatura de dois termômetros, dos quais um tem o bulbo seco e o outro tem o bulbo molhado.

RADIAÇÃO ATMOSFÉRICA: Aquela infravermelha emitida ou sendo propagada através da atmosfera.

RADIAÇÃO DIFUSA: Aquela espalhada pelas moléculas gasosas e outras partículas da atmosfera e que chega na terra. Sin. *radiação do céu, luz do céu, luz difusa do céu.*

RADIAÇÃO SOLAR DIRETA: Aquela que atinge a superfície da Terra sem sombreamento, obstrução ou espalhamento pelas nuvens por causa das variações na turbidez (sozinha ou em conjunto com a massa ótica) e por causa da espessura ótica variável das nuvens. A distinção entre brilho solar e inexistência do brilho solar é arbitrária e depende, em muito, do sistema de observação e de registro em uso. No Brasil, é frequente usar o termo insolação que é uma

impropriedade, porque o termo "insolation" em inglês é abreviatura de "incoming solar radiation".

RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL: Aquela solar direta mais a difusa do céu, recebida por uma unidade de área da superfície terrestre horizontal. Sin. *radiação global*.

SUBSTRATO: Meio físico, biológico ou químico, onde se desenvolvem organismos. Em pedologia, o termo designa o horizonte C ou a rocha subjacente ao solo.

STEMFLOW: Expressão inglesa que significa a parcela de água da chuva que escorre pelos troncos, após ter passado pela copa das árvores. Também é conhecida como *água de escorrimento*.

O estresse é a exposição a condições extraordinárias desfavorávies. Estas não representam necessariamente uma ameaça à vida, mas acionam "alarmes" (por exemplo, reações defensivas ou adaptativas) no organismo, se este não se achar em estado de hibernação

STRESS: É a exposição a condições extraordinárias desfavorávies. Estas não representam necessariamente uma ameaça à vida, mas acionam "alarmes" (por exemplo, reações defensivas ou adaptativas) no organismo, se este não se achar em estado de hibernação

SUBSTRATO: Meio físico, biológico ou químico onde se desenvolvem organismos. Em pedologia, o termo designa o horizonte C ou a rocha subjacente ao solo.

TAXA DE EVAPORAÇÃO: Quantidade de água evaporada de uma dada superfície livre, por unidade de tempo.

TEMPERATURA DO BULBO SECO: Aquela lida em um termômetro de bulbo seco exposto ao ar, protegido da radiação solar direta.

TEMPERATURA DO BULBO ÚMIDO: Aquela lida em termômetro, cujo bulbo é coberto por um filme de água ou gelo, exposto ao ar, protegido da radiação solar direta.

TEMPERATURA DO PONTO DE ORVALHO: Temperatura limite em que o ar pode ser resfriado sem causar condensação e para a qual a pressão de saturação de vapor é idêntica à pressão de vapor do ar.

TEMPERATURA MÉDIA DAS MÁXIMAS: Média aritmética das temperaturas máximas de um determinado período de tempo.

TEMPERATURA MÉDIA DAS MÍNIMAS: Média aritmética das temperaturas mínimas de um determinado período de tempo.

TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA: Média das temperaturas registradas em um intervalo de 24 horas (dia).

TEMPERATURA MÍNIMA DIÁRIA: Menor temperatura registrada em um intervalo de 24 horas (dia).

TEMPERATURA MÁXIMA DIÁRIA: Maior temperatura registrada em um intervalo de 24 horas (dia).

TEMPERATURAS EXTREMAS: Aquelas máxima e mínima ocorridas durante um determinado intervalo de tempo.

TEMPERATURA MÉDIA DIURNA: Média das temperaturas registradas em um intervalo de 7 às 18 horas (período diurno).

TEMPERATURA MÉDIA NOTURNA: Média das temperaturas registradas em um intervalo de 19 às 6 horas (período noturno).

THROUGHFALL: Expressão inglesa que significa a parcela de água da chuva que goteja para o solo, após contato com a copa das árvores. Também é conhecida como *água de gotejamento*.

TRANSPIRAÇÃO: Perda d'água por um organismo, através de uma membrana ou dos poros.

TROPOSFERA: Porção inferior da atmosfera (até aproximadamente 10 km de altura), onde se concentra a maior parte dos gases. É caracterizada pelo declínio progressivo da temperatura de acordo com a altitude. A troposfera é a camada em que ocorrem os fenômenos climáticos e envolve a biosfera.

TURBULÊNCIA: Mistura errática, com fluxo sinuoso, marcadamente constituída por unidades com diferentes velocidades e direções, divergindo do fluxo principal. Na atmosfera, é geralmente influenciada pelo vento.

UMIDADE ESPECÍFICA: Massa de vapor d'água contida na unidade de massa de ar. A umidade específica é normalmente expressa em gramas de vapor d'água por quilogramas de ar.

UMIDADE RELATIVA: A relação percentual entre a quantidade de vapor d'água contido no ar e a quantidade de vapor que o ar poderia conter ao atingir a saturação, para uma dada temperaura e pressão atmosférica.

VEGETAÇÃO: Conjunto de plantas que são dependentes de seu ambiente e se influenciam mutuamente, inclusive modificando seu próprio ambiente.

ZONA TROPICAL: i) Aquela situada entre o Trópico de Câncer (23°27'N) e o Trópico de Capricórnio (23°27'S). ii) Aquela caracterizada por um clima com altas temperaturas, umidade e chuva, e ocasionalmente geadas fracas.