



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

**BALANÇOS DE RADIAÇÃO E ENERGIA EM ÁREA REFLORESTADA
COM ALGAROBA NO SERIDÓ DO RIO GRANDE DO NORTE**

RAMÓN WELLENGSON ALVES MARTINS

ORIENTADOR: DR. MÁRIO DE MIRANDA VILAS BOAS R. LEITÃO

CAMPINA GRANDE – PB

DEZEMBRO – 2000

RAMÓN WELLENGSON ALVES MARTINS

BALANÇOS DE RADIAÇÃO E ENERGIA EM ÁREA REFLORESTADA COM
ALGAROBA NO SERIDÓ DO RIO GRANDE DO NORTE

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em
Meteorologia da Universidade Federal da Paraíba em
cumprimento às exigências para a obtenção do Grau de
Mestre

Área de Concentração: Meteorologia Agrícola e Micrometeorologia
Sub-Área: Agrometeorologia

Orientador: Dr. Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão

Campina Grande, PB

Dezembro - 2000



M386b Martins, Ramón Wellengson Alves.
Balancos de radiação e energia em área reflorestada com
algaroba no seridó do Rio Grande do Norte / Ramón
Wellengson Alves Martins. - Campina Grande, 2000.
98 f.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade
Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2000.
"Orientação : Prof. Dr. Mário de Miranda Vilas Boas
Ramos Leitão".
Referências.

1. Radiação Solar - Algaroba - Rio Grande do Norte (RN).
2. Algaroba - Seridó do Rio Grande do Norte . 3.
Dissertação - Meteorologia. I. Leitão, Mário de Miranda
Vilas Boas Ramos. II. Universidade Federal da Paraíba -
Campina Grande (PB). III. Título

CDU 551.521.31:633.875(813.2)(043)

RAMÓN WELLENGSON ALVES MARTINS

BALANÇO DE RADIAÇÃO E ENERGIA EM ÁREA REFLORESTADA COM
ALGAROBA NO SERIDÓ DO RIO GRANDE DO NORTE

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/12/00

BANCA EXAMINADORA


Dr. MÁRIO DE MIRANDA VILAS BOAS RAMOS LEITÃO
Universidade Federal da Paraíba


Dr. TANTRAVAHÍ VENKATA RAMANA RAO
Universidade Federal da Paraíba


Dr. JOSÉ FIDELES FILHO
Universidade Estadual da Paraíba

*À minha mãe Risonete Alves Martins fiel companheira de luta e pelo seu eterno amor, à minha irmã Ismênia Kelly Alves Martins e aos meus avós José Alves Sobrinho e Maria Camelo Alves **OFEREÇO**.*

*Ao meu pai Severino Martins da Silva Sobrinho (in memoriam), pela amizade e por tudo que representou pra mim como exemplo de honestidade, caráter e integridade **DEDICO**.*

AGRADECIMENTOS

Ao término deste trabalho, quero expressar, de forma especial, minha gratidão à Deus, que me deu forças e perseverança em todos os momentos desta jornada.

Ao professor Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão, pelo apoio dado na parte de confecção do texto e análise dos gráficos, bem como, pela confiança, competência, dedicação e paciência no desenvolvimento deste trabalho, no qual foi sem dúvida imprescindível para a sua realização.

A Coordenação do Mestrado em Meteorologia da Universidade Federal da Paraíba na pessoa do professor Tantravahi Venkata Ramana Rao, pelo importante apoio e colaboração que possibilitou a realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de estudo.

À todos os professores do curso de Mestrado em Meteorologia da Universidade Federal da Paraíba, em particular aos professores Renilson e Bernardo nas sugestões e atenção dispensadas.

Aos professores Jesus Marden de Santos e Nilson Augusto Villa Nova que mesmo distantes deram importantes sugestões para a melhoria deste trabalho.

À divanete Cruz Rocha, pelo eficiente trabalho desenvolvido à frente da secretaria do curso.

Ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Hídricos Renováveis (IBAMA), nas pessoas de Adson Borges Macêdo (chefe da Estação Ecológica do Seridó), ao funcionário Armênio Medeiros da Costa e do soldado Irmão, pelo apoio dado.

Ao Dr. Dinarte Mariz de Medeiros Júnior (proprietário da Fazenda Solidão), por ter possibilitado a realização deste trabalho.

Aos bons amigos do DCA, pela excelente convivência durante o período do curso, em especial à Josicleda, Magna, Cláudia e Daisy.

Ao pesquisador José Espínola Sobrinho e ao colega Antônio Honório pela ajuda na montagem do experimento.

A pesquisadora Gertrudes e as colegas Andréa e Márcia que me auxiliaram na solução de algumas dúvidas.

Enfim, à todos aqueles que lutam para tornar a ciência um importante instrumento na busca de soluções para os problemas dos povos.

RESUMO

A presente pesquisa foi desenvolvida em duas áreas localizadas no município de Serra Negra do Norte - RN. Uma área com vegetação nativa - caatinga ($6^{\circ} 35' 49''$ S; $37^{\circ} 14' 54''$ W) e outra reflorestada com algaroba ($6^{\circ} 36' 08''$ S; $37^{\circ} 18' 31''$ W). O objetivo deste estudo foi comparar os balanços de radiação e energia da área de algaroba com a o da área de caatinga, durante dois períodos climáticos extremos: no verão, período de 01 a 31 de outubro de 1999 (período seco - onde apenas a algaroba permanece verde) e durante o período chuvoso, quando ambas as áreas estiveram completamente verde; de 09 de março a 08 de abril de 2000. Para tanto, instalou-se duas torres micrometeorológicas: uma na área de caatinga com 8m e outra na área de algaroba com 14m. As aquisições de dados foram efetuados com microloggers 21X, programados para realizarem leituras a cada segundo, e a partir daí calcularem médias a cada dez minutos. Os resultados obtidos mostraram, que embora principalmente no período seco os dois dosséis tivessem superfícies muito diferentes, a razão entre o saldo de radiação (R_n) e a radiação solar global (K_{\downarrow}), praticamente não apresentou diferença: no período seco nas áreas de caatinga e algaroba R_n representou 76,0 e 77,0% de K_{\downarrow} respectivamente, e durante o período chuvoso 77,1 e 78,3%. O aumento da umidade do solo na área de algaroba durante o período chuvoso, contribuiu para a diminuição do albedo nesta área. O fluxo de calor latente no período seco representou 96,7 e 104,2% do saldo de radiação nas áreas de caatinga e algaroba, respectivamente, e no período chuvoso 84,5 e 94,2%. Houve contribuição de energia por advecção de calor sensível durante todo o período seco, tanto na área de caatinga como na de algaroba. As regressões entre o saldo de radiação e a radiação solar global e entre o saldo de radiação e o fluxo de calor latente, para os dois períodos estudados, apresentaram ótimos coeficientes de correlação.

ABSTRACT

The present research was conducted in two areas located near the city of the Serra Negra do Norte - RN, one covered with native vegetation - caatinga ($6^{\circ} 35' 49''$ S; $37^{\circ} 14' 54''$ W) and the other reforested with algaroba ($6^{\circ} 36' 08''$ S; $37^{\circ} 18' 31''$ W). The objective of this study was to compare the radiation and energy balance of the algaroba area with that of the caatinga area, during two extreme seasons: in summer, period of 01 to 31 of October, 1999 (dry period - where the algaroba remains green) and in the rainy period of March 09 to April 08, 2000 (when both the areas were completely green). For this purpose, two micrometeorological towers were built: one of 08 m in the caatinga area and another of 14 m in the algaroba area. The data were acquired with data loggers (Campbell 21X) programmed to collect data at one second intervals and averaging it over a period of ten minutes. The results showed that, even though the two canopies had very different surfaces in summer, the ratio of the net radiation (R_n) to the global solar radiation ($K\downarrow$), practically didn't show any difference: in the dry period over the caatinga and algaroba, R_n represented 76.0 and 77.0% of $K\downarrow$ respectively, and during the rainy period the ratios were 77.1 and 78.3%. The increase in humidity of the soil in the algaroba area during the rainy period, contributed to the decrease in albedo. The latent heat flux in the dry period represented 96.7 and 104.2% of the net radiation over the caatinga and algaroba, respectively, and in the rainy period 84.5 and 94.2%. There was contribution of energy due to advection of sensible heat during whole dry period, over both the areas. The regressions between the net radiation and global solar radiation and between the net radiation and the latent heat flux, for the two periods studied, presented large correlation coefficients.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE SÍMBOLOS.....	I
LISTA DE QUADROS.....	III
LISTA DE TABELAS.....	IV
LISTA DE FIGURAS.....	VI
1 - INTRODUÇÃO.....	01
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	06
2.1 - Balanço de Radiação.....	06
2.2 - Balanço de Energia.....	11
3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 - Localização e Características da Área Experimental.....	16
3.2 - Instrumentação Utilizados e sua Disposição.....	18
3.3 - Aquisição dos Dados.....	21
3.4 - Métodos.....	24
3.4.1 - Balanço de Radiação à Superfície.....	24
3.4.1.1 - Balanço de Radiação de Ondas Curtas.....	25
3.4.1.2 - Balanço de Radiação de Ondas Longas.....	25
3.4.2 - Albedo.....	26
3.4.3 - Balanço de Energia à Superfície.....	26
3.4.4 - Estimativa da Evapotranspiração.....	28
3.4.4.1 - Método Combinado de Penman.....	28
3.4.4.2 - Método da Razão de Bowen.....	30

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 - Balanço de Radiação à Superfície.....	34
4.1.1 - Período Seco (01/10/99 a 31/10/99).....	34
4.1.2 - Período Chuvoso (09/03/00 a 08/04/00).....	50
4.2 - Balanço de Energia.....	65
4.2.1 - Período Seco (01/10/99 a 31/10/99).....	65
4.2.2 - Período Chuvoso (09/03/00 a 08/04/00).....	73
5 - CONCLUSÕES.....	82
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84

LISTA DE SÍMBOLOS

Latinos

c_p - calor específico do ar à pressão constante, $\text{cal.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

e - pressão parcial do vapor d'água, mb

g - aceleração da gravidade, m.s^{-2}

G - fluxo de calor no solo, Wm^{-2}

H - fluxo de calor sensível, Wm^{-2}

k - constante de Von Kármán, adimensional

k_h - coeficiente de difusão turbulenta de calor sensível, $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$

k_m - coeficiente de difusão turbulenta de quantidade de movimento, $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$

k_w - coeficiente de difusão turbulenta de vapor d'água, $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$

$K\downarrow$ - radiação de ondas curtas incidente, W.m^{-2}

$K\uparrow$ - radiação de ondas curtas emitida, W.m^{-2}

K^* - saldo de radiação de ondas curtas, W.m^{-2}

$L\downarrow$ - radiação de ondas longas da atmosfera, Wm^{-2}

$L\uparrow$ - radiação de ondas longas emitida pela superfície, Wm^{-2}

L^* - saldo de radiação de ondas longas, Wm^{-2}

$L\uparrow / L\downarrow$ - razão entre as radiações de ondas longas emitida pela superfície e proveniente da atmosfera, %

L - calor latente de vaporização da água, J.kg^{-1}

LE - fluxo de calor latente, cal.kg^{-1}

p - pressão atmosférica

r - albedo (%)

R_n - saldo de radiação, Wm^{-2}

T_a - temperatura do ar, K

T_s - temperatura da superfície, °C

u - velocidade média do vento, ms^{-1}

z_0 - parâmetro de rugosidade da superfície, m

$\Delta q/\Delta z$ - gradiente vertical de umidade específica, m^{-1}

$\Delta T/\Delta z$ - gradiente vertical de temperatura, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$

$\Delta T/\Delta x$ - gradiente horizontal de temperatura, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$

$\Delta q/\Delta x$ - gradiente horizontal de umidade, m^{-1}

$\Delta u/\Delta x$ - gradiente horizontal de velocidade do vento, m^{-1}

Gregos

β - razão de Bowen, adimensional

β_c - razão de Bowen corrigida, adimensional

ε - razão entre as massas molares do vapor d'água e ar seco ($m_v/m_a=0,622$)

ε_s - emissividade da superfície

σ - constante de Stefan-Boltzman, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

ρ - densidade do ar, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

ϕ - função instabilidade, adimensional

γ - parâmetro psicrométrico, $\text{mb} \cdot \text{K}^{-1}$

LISTA DE QUADROS

	Pág.
Quadro 3.1 - Localização geográfica das áreas experimentais.....	19
Quadro 3.2 - Imagem do dossel de caatinga durante o período seco.....	24
Quadro 3.3 - Imagem do dossel de algaroba durante o período seco.....	24
Quadro 3.4 - Imagem do dossel de caatinga durante o período chuvoso.....	25
Quadro 3.5 - Imagem do dossel de algaroba durante o período chuvoso.....	25
Quadro 3.6 - Representação esquemática do balanço de energia num volume de controle.....	29

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 3.1 - Caracterização dos instrumentos utilizados.....	22
Tabela 4.1 - Totais médios diários dos componentes do balanço de radiação no período seco e chuvoso.....	39
Tabela 4.2 - Resultados da regressão linear diária entre o saldo de radiação e a radiação solar global durante o período seco.....	39
Tabela 4.3 - Totais médios diários do saldo de radiação de ondas curtas e de ondas longas durante os períodos seco e chuvoso.....	40
Tabela 4.4 - Valores médios diários do albedo durante os períodos seco e chuvoso.....	42
Tabela 4.5 - Valores médios diários da razão de ondas longas nos períodos seco e chuvoso.....	46
Tabela 4.6 - Resultados da regressão linear diária entre o saldo de radiação e a radiação solar global durante o período chuvoso.....	55
Tabela 4.7 - Totais médios diários dos componentes do balanço de energia	

durante os períodos seco e chuvoso.....	69
Tabela 4.8 - Resultados da regressão linear diária entre o fluxo de calor latente e o saldo de radiação durante o período seco.....	70
Tabela 4.9 - Valor médio diário da razão de bowen durante os períodos seco e chuvoso.....	72
Tabela 4.10 - Resultados da regressão linear diária entre o fluxo de calor latente e o saldo de radiação durante o período chuvoso.....	77
Tabela 4.11 - Evapotranspiração potencial média diária estimada pelo método de Penman, durante os períodos seco e chuvoso.....	82

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 4.1 - Comportamento médio diário dos componentes do balanço de radiação durante o período seco: (a) caatinga; (b) algaroba.....	37
Figura 4.2 - Comportamento médio diário do saldo de radiação nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	38
Figura 4.3 - Comportamento médio diário da radiação solar global nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	38
Figura 4.4 - Comportamento médio diário da radiação solar refletida nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	41
Figura 4.5 - Comportamento médio diário do saldo de ondas curtas nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	41
Figura 4.6 - Comportamento médio diário do albedo nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	43
Figura 4.7 - Comportamento médio diário da radiação de ondas longas proveniente da atmosfera nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	44

Figura 4.8 - Comportamento médio diário da radiação de ondas longas emitida pela superfície dos dosséis de caatinga e algaroba durante o período seco.....	44
Figura 4.9 - Comportamento médio diário do saldo de ondas longas nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	45
Figura 4.10 - Comportamento médio diário da razão entre a radiação de onda longa emitida pela superfície e proveniente da atmosfera nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	45
Figura 4.11 - Comportamento médio horário dos componentes do balanço de radiação durante o período de seco: (a) caatinga; (b) algaroba.....	47
Figura 4.12 - Comportamento médio horário da radiação solar global nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	48
Figura 4.13 - Comportamento médio horário do saldo de radiação nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	48
Figura 4.14 - Comportamento médio horário da radiação solar refletida nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	49
Figura 4.15 - Comportamento médio horário do albedo nas áreas de caatinga e	

algaroba durante o período seco.....	50
Figura 4.16 - Comportamento médio horário da radiação de ondas longas proveniente da atmosfera nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	51
Figura 4.17 - Comportamento médio horário da radiação de ondas longas emitida pela superfície dos dosséis nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	51
Figura 4.18 - Comportamento médio diário dos componentes do balanço de radiação durante o período chuvoso: (a) caatinga; (b) algaroba.....	53
Figura 4.19 - Comportamento médio diário do saldo de radiação nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	54
Figura 4.20 - Comportamento médio diário da radiação solar global nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	54
Figura 4.21 - Comportamento médio diário da radiação solar refletida nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	56
Figura 4.22a - Comportamento diário da precipitação durante o período chuvoso nas áreas de caatinga e algaroba.....	56

Figura 4.22b - Comportamento semanal da umidade do solo nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período seco; (b) período chuvoso.....	57
Figura 4.23 - Comportamento médio diário do saldo de ondas curtas nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	58
Figura 4.24 - Comportamento médio diário do albedo nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	58
Figura 4.25 - Comportamento médio diário da radiação de ondas longas proveniente da atmosfera nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	59
Figura 4.26 - Comportamento médio diário da radiação de ondas longas emitida pela superfície dos dosséis nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	60
Figura 4.27 - Comportamento médio diário do saldo de ondas longas nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	60
Figura 4.28 - Comportamento médio diário da razão entre a radiação de onda longa emitida pela superfície e proveniente da atmosfera nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	61

Figura 4.29 - Comportamento médio horário dos componentes do balanço de radiação durante o período chuvoso: (a) caatinga; (b) algaroba.....	62
Figura 4.30 - Comportamento médio horário da radiação solar global nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	63
Figura 4.31 - Comportamento médio horário do saldo de radiação nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	64
Figura 4.32 - Comportamento médio horário da radiação solar refletida nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	64
Figura 4.33 - Comportamento médio horário do albedo nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	65
Figura 4.34 - Comportamento médio horário da radiação de ondas longas proveniente da atmosfera nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	66
Figura 4.35 - Comportamento médio horário da radiação de ondas longas emitida pela superfície dos dosséis nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	66
Figura 4.36 - Comportamento médio diário dos componentes do balanço de	

energia durante o período seco: (a) caatinga; (b) algaroba.....	68
Figura 4.37 - Comportamento médio diário do fluxo de calor latente nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	69
Figura 4.38 - Comportamento médio diário do fluxo de calor sensível nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	71
Figura 4.39 - Comportamento médio diário da razão de Bowen nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	71
Figura 4.40 - Comportamento médio diário do fluxo de calor no solo nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	72
Figura 4.41 - Comportamento médio horário do fluxo de calor latente nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	73
Figura 4.42 - Comportamento médio horário do fluxo de calor sensível nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	74
Figura 4.43 - Comportamento médio horário do fluxo de calor no solo nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.....	74

Figura 4.44 - Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia durante o período chuvoso: (a) caatinga; (b) algaroba.....	76
Figura 4.45 - Comportamento médio diário do fluxo de calor latente nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	77
Figura 4.46 - Comportamento médio diário do fluxo de calor sensível nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	78
Figura 4.47 - Comportamento médio diário da razão de Bowen nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	79
Figura 4.48 - Comportamento médio diário do fluxo de calor no solo nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	79
Figura 4.49 - Comportamento médio horário do fluxo de calor latente nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	80
Figura 4.50 - Comportamento médio horário do fluxo de calor sensível nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	81
Figura 4.51 - Comportamento médio horário do fluxo de calor no solo nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.....	81

Figura 4.52 - Comportamento médio diário da evapotranspiração potencial estimado pelo método de Penman para as áreas de caatinga e algaroba: (a) período seco; (b) período chuvoso.....

83

1 - INTRODUÇÃO

Cerca de 800.000 km² do Nordeste brasileiro são ocupados pela vegetação nativa dominante do semi-árido, a “*silva aestu aphylla*”, conhecida como caatinga que na língua indígena quer dizer Mata Cinza, a mesma é constituída de um complexo vegetacional onde predominam árvores e arbustos decíduos durante o período seco, freqüentemente armados de espinhos ou acúleos, diversas suculentas, entre as quais Cactáceas, Bromeliáceas e mesmo Euforbiáceas. A caatinga, ao contrário do que muitos afirmam, possui uma vegetação floristicamente rica, contudo, muitas de suas espécies se repetem em quase toda a região. As árvores são baixas, raquíticas, de troncos delgados e com esgalhamento profuso. São freqüentes os gêneros *Zizyphus*, *Acacia*, *Erythrina* e *Bauhinia*, além de numerosas espécies dos gêneros *Cassia*, *Mimosa* e *Erythroxilum*. A dominância é de gêneros das famílias Cactaceae (*Cereus*, *Pilocereus* e outros) e Bromeliaceae (*Bromelia* e *Neoglaziovia*). Em uma mesma região pode-se observar a mudança repentina da caatinga, mostrando-se ora de estrutura baixa e esparsa ora de forma agrupada. Ela apresenta três estratos: arbóreo (8 a 12 metros), arbustivo (2 a 5 metros) e o herbáceo (abaixo de 2 metros). Embora não tenha potencial madeireiro, exceto pela extração secular de lenha, a região da caatinga é rica em recursos genéticos dada a sua alta biodiversidade. Por outro lado, o aspecto agressivo da vegetação contrasta com o colorido diversificado das flores emergentes no período das

chuvas, cujo índice pluviométrico varia entre 300 e 800 milímetros anualmente. Sob o ponto de vista fenológico, poucas espécies da caatinga mantêm as folhas na estação seca. Somente quando caem as primeiras chuvas, no final do ano, é que inicia-se a floração e aparecem as primeiras folhas na maioria das espécies, o solo fica forrado de pequenas plantas (Hueck, 1972), e a fauna volta a engordar. Na caatinga vive a ararinha-azul, ameaçada de extinção, bem como outros animais: sapo-cururu, asa-branca, cotia, gambá, preá, veado-catingueiro, tatu-peba e o sagui-do-nordeste, entre outros. Contraditoriamente, a flora dos sertões, constituída por espécies com longa história de adaptação ao calor e à secura, é incapaz de reestruturar-se naturalmente se máquinas forem usadas para alterar o solo. A degradação é, portanto, irreversível na caatinga (Lima, 1996).

Nos últimos anos a vegetação nativa dominante do semi-árido do Nordeste brasileiro, além de atingida pelas secas, tem sofrido um amplo processo de devastação, devido ao crescimento populacional e ao desenvolvimento industrial, o que tem contribuído para aumentar o consumo de matéria-prima florestal da região em progressão geométrica. Deve-se atentar para o fato de que a caatinga tem um lento poder de recuperação e pode, facilmente, ser totalmente destruída quando a demanda ou ação sobre a mesma for superior a sua capacidade de regeneração. Há muito tempo, ela vem suportando às pressões em busca de seus produtos e benefícios havendo, portanto uma necessidade de protegê-la. Segundo Reis (1984), o desenvolvimento econômico do semi-árido, deve estar baseado em meios que garantam o máximo desfrute do potencial produtivo, sem prejuízo ao ambiente. Neste sentido, a algaroba (*Prosopis juliflora*) é uma ótima alternativa para o semi-árido nordestino contra o fantasma da seca.

A algaroba é uma espécie vegetal típica da costa do Peru introduzida no Nordeste brasileiro por volta de 1942 em Serra Talhada – PE, e logo depois nos demais estados. Devido a sua resistência à seca e alta produtividade de vagem, constitui uma das

alternativas mais promissoras e concretas para o reflorestamento no semi-árido brasileiro. É uma leguminosa perene de regiões secas, de crescimento rápido, de alta potencialidade para o fornecimento de lenha e carvão, e produção de alimentos (Lima, 1984). A algaroba é uma planta rústica, xerófila, e pertencente à família das leguminosas que se desenvolve em solos de baixa fertilidade, nas regiões áridas e semi-áridas. Quando adulta alcança em média 12m de altura, podendo atingir 18m em casos especiais. Com seis anos de vida seu tronco apresenta mais de 30cm de diâmetro, havendo exemplares com até 80cm. Suas raízes são pivotantes e alcançam grande profundidade. Ao contrário do que se imagina sua casca é pardo-avermelhada, fendida, escamosa e grossa. As folhas são bipenadas e as flores, amarelo-pálidas, dispostas em espigas axilares cilíndricas de até 7cm. O fruto ou a vagem, como é chamada comumente, tem a forma achatada, ligeiramente curvada com depressões entre as sementes, chega a medir 20cm de comprimento e possui mesocarpo carnoso, rico em sacarose e proteína, e endocarpo lenhoso. No Nordeste, as vagens de algaroba contêm, em média, 60% de matéria-seca digestível, 6,5% de proteína digestível e 72% de nutrientes digestíveis totais. O fornecimento de vagens e folhas dessa planta ao gado simultaneamente, pode resultar numa benéfica associação (Barbosa, 1985). A algaroba frutifica a partir do segundo ou terceiro ano. Contudo, apesar do exposto acima, somente a partir de 1984 foi utilizada como cultura de reflorestamento em grande escala, inicialmente usada como sombreiro em algumas cidades e posteriormente introduzida no campo. Para sua implantação, um grande volume de recursos financeiros, provenientes de agências financiadoras ligadas ao governo federal, tem sido investido em muitas áreas da região semi-árida. Tais ações têm sido questionadas sobre alguns aspectos, principalmente no que diz respeito à viabilidade do retorno financeiro e ao impacto ambiental.

Do ponto de vista climatológico, poucos estudos foram realizados até o momento, com isso não é possível ainda afirmar se o reflorestamento com algaroba traz

benefícios ou não. Apesar disso, já se sabe que devido à escassez de água na região semi-árida nordestina, o reflorestamento com esse tipo de vegetação próximo à fontes de água é desaconselhável, pois ela atua com grande eficiência em transferir água do subsolo para a atmosfera, com isso se for introduzida próximo a fontes de água e encontrar lençóis freáticos pouco profundos, contribui para baixar o nível destes, a ponto de secar algumas cacimbas e de certo modo contribuir para aumentar a escassez de água. O reflorestamento com algaroba deve ser feito preferencialmente em locais onde seja difícil o plantio de vegetação nativa (Siqueira, 1997).

Segundo Lima (1984) a algaroba serve de proteção para o solo contra a erosão causada pelo vento ou por fortes enxurradas, fornece matéria orgânica através da permanente incorporação de suas folhas ao solo, geração de renda para a população, aumento da oferta de madeira para diversos fins, geração de empregos em áreas de baixa renda, sombra e alimento para vários animais, tais como: gado, carneiros, etc. e, em alguns casos como alimentação humana. Todos esses fatores são importantes para a região semi-árida nordestina, principalmente durante os períodos de seca, onde a escassez de alimento é uma constante. Outro fato observado é que ao longo do ano, a algaroba se mantém verde dando frutos durante as longas estações secas das regiões semi-áridas, subúmidas e semi-úmidas do Nordeste e de certo modo, apresenta alguma produtividade, pois sua capacidade de resistir às secas deve-se ao fato de possuir uma estrutura que lhe permite absorver umidade do ar, fazendo assim uma “auto-irrigação”, enquanto que a vegetação nativa da região (caatinga), na maior parte do ano, perde toda a folhagem, não tem formação de pasto e capim, e a vegetação rasteira torna-se completamente seca e sem vida.

Por ser um tema de muita importância para o conhecimento climático e a preservação do meio ambiente do Nordeste brasileiro, e ser tão pouco explorado e valorizado, o presente trabalho teve como objetivo estudar o comportamento dos balanços de

radiação e energia em área de caatinga e áreas reflorestadas com algaroba no semi-árido do Nordeste Brasileiro, durante dois períodos climáticos extremos: no verão, tendo em vista que nesta época do ano a vegetação nativa perde toda a folhagem e a algaroba permanece verde; e durante o período chuvoso, quando ambas as áreas estão completamente verde.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Balanço de Radiação

O balanço de radiação à superfície representa as trocas verticais de radiação entre a superfície e a atmosfera. Seu conhecimento é muito significativo, haja vista que representa a principal fonte de energia para os processos físico-químicos que ocorrem na biosfera. Os fluxos de radiação são constituídos de radiação de ondas curtas ($\leq 4,0 \mu\text{m}$) e de ondas longas ($> 4,0 \mu\text{m}$). Os fluxos de radiação de ondas curtas apresentam magnitude maior do que os de ondas longas, sendo a radiação solar global a principal fonte. O fluxo de radiação solar que é refletida pela superfície é chamado de reflectância. Segundo *Blad & Baker (1972)*, o albedo é função da elevação solar, grau de cobertura de solo, estado de umidade do solo e das plantas, e quantidade e tipo de cobertura de nuvens.

Idso (1973) utilizando equações para estimar a radiação térmica da atmosfera, concluiu que as equações de Angstrom e Brunt dão resultados praticamente idênticos sobre todo o range de temperatura e vapor d'água. Similarmente as equações de Swinbank e Idso-Jackson fornecem resultados essencialmente idênticos para temperatura acima de 0°C , mas apresentam desvios significativos para temperaturas abaixo de 0°C , e em particular a equação de Swinbank foge bastante da realidade.

Analisando o comportamento dos termos do balanço de radiação acima da copa da floresta amazônica, *Viswanadham et al. (1987)* concluíram que em termos absolutos, estes apresentam crescimento na parte da manhã, atingindo um máximo próximo ao meio dia e decrescendo no período da tarde. É comum o aparecimento de flutuações em todos os termos do balanço e, no que se refere ao albedo, este apresenta valores mais elevados nos períodos de transição entre dia e noite, porém não apresenta praticamente flutuações, e o seu valor mínimo ocorre nas horas de maior incidência da radiação solar.

Trabalhando na Amazônia durante estação seca *Ribeiro (1994)*, observou que o saldo de radiação durante o período diurno na área de floresta, foi maior do que na área de pastagem, enquanto no período noturno as perdas de radiação foram maiores na floresta que na pastagem.

De acordo com o relatório do Projeto *ABRACOS (1994)* realizado na Amazônia durante 5 anos, onde a radiação solar incidente e refletida e o saldo de radiação foram medidos sobre áreas de pastagem e de floresta, a pastagem reflete mais radiação solar que a floresta. Isto fornece mais energia disponível para a floresta evapotranspirar.

Após analisar o balanço de radiação para áreas de pastagem e floresta na Amazônia Central, durante as estações seca e chuvosa, *Feitosa (1996)* concluiu que o saldo de radiação médio, representou cerca de 72% da radiação solar global na estação seca na área de floresta e 64% na área de pastagem. Para a estação chuvosa, estes índices foram de 76% na área de floresta e 65% na área de pastagem respectivamente. Já a evapotranspiração potencial média diária estimada pelo método de Penman durante a estação seca para a área de pastagem foi de 3,9 mm/dia e de 4,9 mm/dia para a área de floresta, enquanto durante a estação chuvosa foi de 4,3 mm/dia na pastagem e de 5,3 mm/dia na floresta

A densidade do fluxo de radiação solar global incidente à superfície da Terra, é constituída de radiação solar direta e difusa, também chamada de radiação de ondas curtas. A radiação de ondas curtas é aquela com comprimento de onda na faixa de 0,15 a 4,0 μm . *Budiko (1958)* afirmou que a reflectância da radiação de ondas curtas em um solo escuro e úmido é de 11% e de 20% num solo coberto com plantas de algodão. A reflectância depende fortemente da elevação solar e do ângulo formado entre os raios solares e as superfícies das folhas (*Azevedo et al. (1989); Leitão (1989)*).

Em pesquisa realizada em três ecossistemas na Amazônia, *Leitão (1994)* verificou diferença acentuada em relação ao pico de radiação de ondas curtas incidente na base destes dosséis: na mata densa 80 Wm^{-2} ; na campinarana a penetração foi de 180 Wm^{-2} e, na campina 300 Wm^{-2} .

A reconhecida significância da radiação de ondas longas é peculiar em meteorologia, cujas determinações na atmosfera e na superfície, são conhecidos largamente através de cálculos e não por observação. Como, as medidas de radiação de ondas longas à superfície da Terra não são numerosas, muitas cartas de radiação tem sido desenvolvidas para a estimativa de radiação de ondas longas. Dentre essas destacam-se: *Mugge & Moller (1932); Elsasser (1942); Robinson (1950) e Yamamoto & Onishi (1953)*.

Para *Wright et al. (1992)* a diferença do saldo de radiação de onda longa nas estações seca e chuvosa, em área de pastagem na Amazônia, é decorrente predominantemente de mudanças na cobertura de nuvens.

O saldo de radiação é o principal componente do balanço de radiação, e ao mesmo tempo, representa um parâmetro fundamental nos métodos que estimam as perdas de água pôr superfícies vegetadas, tais como o método da razão de Bowen (*Tanner (1960); Fritschen (1965)*) e o método combinado (*Penman (1948); Ferguson (1952); Slatyer & McIlroy (1961)*). Dentre os estudos envolvendo o saldo de radiação destacam-se: *Linacre*

(1968), *Viswanadham* (1972), *Villa Nova* (1973), *Kumar e Maheswara Rao* (1985), *Leitão* (1989 e 1994), *Azevedo et al.* (1990) e *Shuttleworth et al.* (1991)

A maior porção do saldo de radiação, é utilizada nas trocas de calor sensível e latente, com a atmosfera. A distribuição proporcional entre estes dois termos depende da disponibilidade de água para a evaporação (*Tanner* (1960); *Sellers* (1965); *Berlato & Molion* (1981)). Quando as plantas estão bem supridas de água, a maior parte de energia disponível é utilizada no processo da evapotranspiração (*Vila Nova* (1973); *Pedro Júnior* (1977); *André* (1986); *Fontana* (1987); *Bergamaschi et al.* (1988); *Cunha* (1988)).

Segundo *Idso et al.* (1975), a razão entre o fluxo de calor no solo e o saldo de radiação, modifica-se consideravelmente com o conteúdo de água, decrescendo de um solo seco para um solo úmido. *Chothier et al.* (1967) mostraram que essa razão também decresce com o desenvolvimento vegetativo da cultura.

Llasat et al. (1998) ao usarem dados da estação meteorológica Raimat, localizada na região da Catalonia, Espanha, para verificar as conseqüências dos erros causados no saldo de radiação e na evapotranspiração de referência, observaram que um erro de 5 °C na temperatura da superfície pode causar erro no saldo de radiação em torno de 30 Wm^{-2} , quando essa temperatura está em torno de 40 °C. Erro de 4% quando a radiação solar é próxima de 1000 Wm^{-2} , pode causar erro de 26 Wm^{-2} no saldo de radiação, e o erro na evapotranspiração varia entre 65 e 85% do erro do saldo de radiação, quando a temperatura do ar aumenta de 20°C para 40 °C.

Siqueira (1997) estudando o microclima da caatinga e de uma área reflorestada com algaroba, usando o método da razão de Bowen, concluiu que os fluxos de calor latente e sensível, durante o período chuvoso, representaram cerca de 68,2% e 27,0% do saldo de radiação na área de caatinga, respectivamente. Na área com algaroba, as frações dos fluxos de LE e H, foram respectivamente de 80,3% e 9,6% de R_n . Após o período

chuvoso estes fluxos na caatinga representaram 93,3% e 4% de R_n ; enquanto que na algaroba chegaram a 93,3% e 3,0%, respectivamente.

O coeficiente de reflexão, atinge valores máximos ao nascer e ocaso do sol, e valores mínimos próximos ao meio-dia (*Monteith & Szeic (1961); Rijks (1968); Davies & Buttamor (1969); Proctor et al. (1972); Shaw & Decker (1979)*). No entanto, *Rijks (1967)* encontrou valores de reflectância inferiores ao ocaso comparados com valores observados ao nascer do sol. Opostamente *Proctor et al. (1972); Nkendirim (1973); Lomas et al. (1974)*, obtiveram valores de reflectância mais elevados ao entardecer do que ao amanhecer.

Como o albedo é um parâmetro fundamental para a estimativa da taxa de evapotranspiração de superfícies vegetadas, vários outros autores tem estudado o comportamento desse parâmetro sobre vegetação e culturas agrícolas (*Monteith & Szeicz (1961); Graham and King (1961); Chia (1967); Subrahmanyam and Ratnam (1969); Tan and Rajaratnam, (1975)*)

Estudando o albedo em três localidades distintas da Amazônia, *Culf et al. (1995)*, encontraram um albedo médio de 13,4% para a floresta, que é ligeiramente maior do que aquele geralmente usado em simulações de desmatamento nos modelos de circulação geral (MCGs), enquanto que na pastagem o valor foi de 18%, valor ligeiramente menor do que o valor comumente usado nas simulações de desmatamento.

Leitão & Oliveira (2000) ao fazerem uma análise dos efeitos da irrigação sobre o albedo de uma cultura de amendoim, na Estação Experimental da CODEVASF, no município de Rodelas, BA, em 1996, concluíram que o albedo variou de um máximo de 29,8% na fase inicial do experimento, a um mínimo de 18,6% no final da fase de desenvolvimento de vagem. Contudo, nos dias em que a irrigação ocorreu pela manhã, esta exerceu influência sobre o albedo médio diário, reduzindo-o em 6,4%.

2.2 - Balanço de Energia

O balanço de energia é comumente utilizado para estimar a evapotranspiração (ET) de superfícies vegetadas. Esse método é baseado nos ganhos e perdas de energia térmica radiativa, condutiva e convectiva pôr uma superfície vegetada evaporante. *Bowen (1926)* desenvolveu o método do balanço de energia baseado no quociente entre os fluxos de calor sensível e latente, o qual combina variáveis atmosféricas e energia disponível. Essa relação foi denominada razão de Bowen, que associada ao balanço de energia, possibilita o cálculo da evapotranspiração. A razão de Bowen é freqüentemente inferida pelas medições das diferenças médias de temperatura e umidade através de uma distância vertical fixada acima de uma superfície homogêna qualquer. A precisão do método da razão de Bowen e o estudo para resolver o balanço de energia através desse método, foram estudadas cuidadosamente pôr vários autores: *Sutton (1953)*; *Suomi e Tanner (1958)*; *Gerber e Decker (1960)*; *Tanner e Pelton (1960)*; *Tanner (1960)*; *Fuchs and Tanner (1970)*; *André (1973)*; *Revheim and Jordan (1976)*; *Sinclair et al. (1975)*; *Spitterhouse and Black (1980)* entre outros.

Segundo *Monteny (1972)*, o método do balanço de energia quando aplicado em regiões semi-áridas, pode indicar a existência de uma fonte adicional de energia, a advecção, que aumenta a evapotranspiração. *Rosenberg (1972)* confirmou esse fato, verificando 12mm diário de evapotranspiração para um saldo de radiação de apenas 6,7mm.

Blaine e Rosenberg (1974) ao compararem a evapotranspiração estimada pelo método do balanço de energia com medidas lisimétricas efetuadas em cultura de soja, verificaram que para condições advectivas, a estimativa pelo método do balanço de energia

subestimou a evapotranspiração medida em até 20%, enquanto para condições não advectivas houve uma boa concordância entre a evapotranspiração medida e estimada.

Brakke et al. (1978) ao modificarem o método do balanço de energia com a incorporação de gradientes horizontais de temperatura do ar e pressão de vapor para calcular taxas de evapotranspiração em campos de alfafa, concluíram que a advecção de calor sensível na direção do movimento do vento, contribuiu de 15 a 50% com a energia consumida pela evapotranspiração diária.

Brun et al. (1985) avaliaram o comportamento do balanço de energia em cultura de trigo durante dois verões consecutivos nas planícies do norte dos Estados Unidos e concluíram que no verão de 1981, em condição de solo úmido, a evapotranspiração representou cerca de 92% do saldo de radiação; porém no verão de 1982, em condições de solo seco, a evapotranspiração representou apenas cerca de 60% do saldo de radiação e o calor sensível representou cerca de 30%.

Leitão e Azevedo (1990) ao realizarem o balanço de energia em cultivo irrigado de soja, no semi-árido do Nordeste, concluíram que 23% da energia usada no processo de evapotranspiração da cultura resultou de advecção de calor sensível.

Pieri and Fuchs (1990) ao estudarem o balanço de energia numa cultura de algodão na planície costeira de Israel, a compararem as estimativas de evapotranspiração pelos métodos da razão de Bowen e aerodinâmico, concluíram que a razão de Bowen apresentou as melhores estimativas.

A análise dos componentes do balanço de energia em uma cultura de alfafa para alguns dias de verão, outono e inverno em Eldorado do Sul – RS, mostrou que o saldo de radiação, foi utilizado principalmente na mudança de estado físico da água (fluxo de calor

latente), seguido dos fluxos de calor sensível na atmosfera e no solo, em uma proporção da ordem de 86%, 9% e 5%, respectivamente (Cunha e Bergamaschi (1994)). Segundo Cunha et al. (1996) o saldo de radiação em uma cultura de milho foi utilizado, em proporções médias para o ciclo de desenvolvimento, em 80% na forma de fluxo de calor latente de evaporação, 14% na forma de fluxo de calor sensível na atmosfera e 6% na forma de calor no solo.

Os primeiros estudos utilizando um método que considera fatores como o saldo de energia e transporte turbulento de vapor d'água à superfície evaporante, foram desenvolvidos por Penman (1948), posteriormente seguido por pesquisadores que desenvolveram outros métodos de estimativas da evapotranspiração: Thornthwaite (1948); Monteith (1965); Priestley-Taylor (1972); entre outros.

Fritschen (1965) ao avaliar a precisão das estimativas de evapotranspiração baseada no método da razão de Bowen, comparando-as com medidas lisimétricas para um pequeno período de dados no Arizona (EUA), observou-se que as estimativas obtidas pelo método da razão de Bowen, apresentam boa precisão, cujos erros absoluto e relativo foram de 2% e 5%, respectivamente.

Denmead & McIlroy (1970), comparando valores de evapotranspiração em trigo, medidos em lisímetros, com valores obtidos pelo método do balanço de energia para vários anos, não encontraram diferenças superiores a 0,1 mm/hora.

Comparando a equação linear de Penman com equações não-lineares para estimar o fluxo de calor latente, Paw U (1992), conclui que o uso de equações não-lineares é aconselhado para condições extremas como, elevadas resistências aerodinâmicas 50 s.m^{-1} , temperatura abaixo de 20 °C e alta umidade.

Segundo *Matzenauer (1992)*, os vegetais através de suas raízes, retiram do solo a água necessária às suas atividades vitais, restituindo parte dela à atmosfera em forma de vapor, ou seja, o processo perdas de água para a atmosfera das plantas é denominado de transpiração, enquanto que a evaporação é definida como o processo físico pelo qual um líquido ou sólido é transferido para o estado gasoso.

Estudando a aplicação de um modelo de calibração para a equação de *Penman - Monteith*, numa área de pastagem na Amazônia, *Wright et al. (1995)*, concluíram que o déficit de umidade do solo e radiação solar são os maiores controladores do processo evapotranspirativo.

Sentelhas e Camargo (1996) ao avaliarem o desempenho dos métodos *Hargreaves (1974)* e *Hargreaves e Samani (1982)* para estimar a evapotranspiração potencial (ETP) no Estado de São Paulo, comparando-os a medidas obtidas em evapotranspirômetros, encontraram, com índices de concordância “d” de *Willmott (1985)* de 0,79 mm e 0,88 mm, respectivamente, para os períodos decenal e mensal.

Siqueira (1997) analisando o microclima em área de caatinga e área reflorestada com algaroba no semi-árido do Rio Grande do Norte durante e após o período chuvoso, observou que a umidade relativa, foi superior na área de caatinga durante o período chuvoso, entretanto, após este período foi superior na área de algaroba. Segundo esta autora devido a escassez de água na região semi-árida do Nordeste Brasileiro, é desaconselhável o reflorestamento com algaroba próximo a fontes de água, pois ela atua com maior eficiência em transferir água do subsolo para a atmosfera. O reflorestamento com algaroba deve ser feito preferencialmente em locais onde seja difícil a reposição da vegetação nativa.

Trambouzen et al. (1998), com base em experimento realizado no Sul da França, concluiu que o método mais preciso para estimar a evapotranspiração real numa

cultura de vinhedo é aquele que mede separadamente a evaporação do solo e a transpiração das plantas.

Siqueira e Leitão (1999) comparando o comportamento da evapotranspiração em áreas de caatinga e de algaroba na região semi-árido do Nordeste do Brasil durante e após o período chuvoso, observaram que a média diária de evapotranspiração, no período chuvoso, estimada pelo método da Razão de Bowen, foi maior (0,5 mm/dia) na área de algaroba do que na área de caatinga. Após o período chuvoso, a evapotranspiração foi maior na área de caatinga (0,1 mm/dia) do que na área de algaroba.

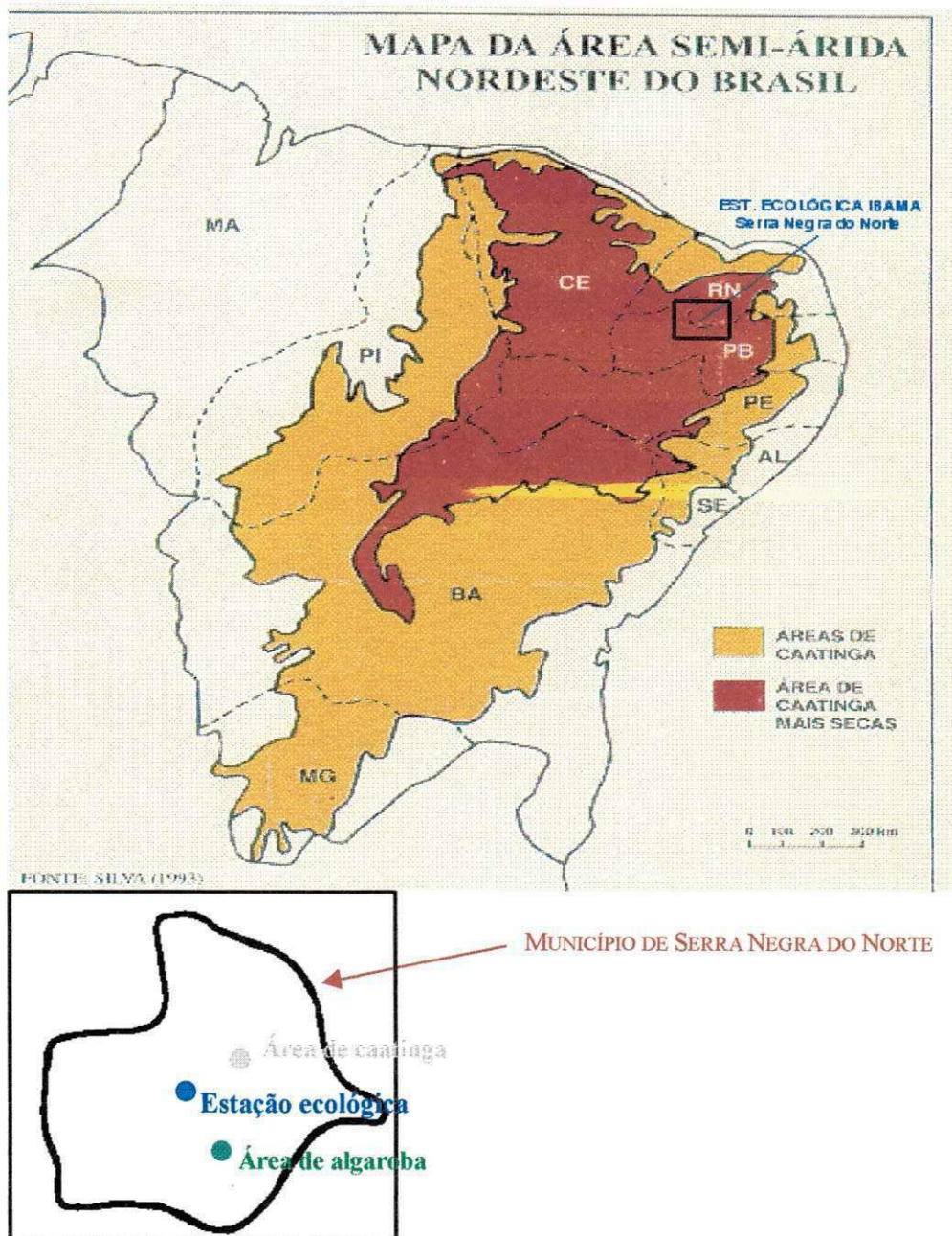
3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Localização e Características da Área experimental

O experimento foi desenvolvido em duas áreas localizadas no município de Serra Negra do Norte, na região do Seridó do Rio Grande do Norte (ver Quadro 3.1). Uma das áreas é reflorestada com algaroba ($6^{\circ} 36' 08''$ S; $37^{\circ} 18' 31''$ W), com aproximadamente 10 ha e está localizada na Fazenda Solidão. A outra área é composta de vegetação de caatinga ($6^{\circ} 35' 49''$ S; $37^{\circ} 14' 54''$ W), constituída de uma mistura de ervas, arbustos e árvores de pequeno porte, mata nativa da região semi-árida, e está localizada na Estação Ecológica do Seridó, uma área de preservação ambiental do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Hídricos Renováveis), vizinha a fazenda supracitada cuja altitude é de 249m e possui uma extensão de 1166,38 ha. A distância entre as áreas citadas é de 6,6 km.

A precipitação média anual da região é de 700 mm concentrada principalmente no período de fevereiro a maio, sendo os demais meses secos ou de muito pouca chuva, a temperatura média mensal diária do ar varia de $25,8^{\circ}\text{C}$ no mês de junho a $32,1^{\circ}\text{C}$ no mês de outubro, a máxima de $28,6^{\circ}\text{C}$ no mês de junho a $34,8^{\circ}\text{C}$ no mês de outubro, e a mínima de $23,2^{\circ}\text{C}$ no mês de junho a $30,9^{\circ}\text{C}$ no mês de novembro. O solo da

área de Caatinga é do tipo Franco Argilo Arenoso e da área de Algaroba é do tipo Franco Arenoso.



Quadro 3.1 – Localização geográfica das áreas experimentais

3.2 - Instrumentação utilizada e sua distribuição

Os dados utilizados neste trabalho são referentes a duas fases experimentais, desenvolvidas nos períodos de 01 à 31 de outubro de 1999 (período seco – época em que apenas a algaroba permanece verde); e de 09 de março a 08 de abril de 2000 (período chuvoso – época de vegetação totalmente verde). Durante as fases experimentais foram instaladas duas torres de ferro (andaimes) para a coleta de dados: uma na área de caatinga com 8m e outra na área de algaroba com 14m.

Nestas torres foram instalados os seguintes instrumentos:

- Dois psicômetros (sensores de temperaturas seca e úmida) nos níveis de 0,5m e 1,5m acima da altura média das copas;
- Um anemômetro e um sensor de direção do vento a 1,5m acima das copas;
- Um piranômetro para medir a radiação incidente a 1,5m acima das copas;
- Um piranômetro para medir a radiação refletida a 1,5m acima das copas;
- Um saldo radiômetro para medir o saldo de radiação, a 1,5m acima das copas;
- Um fluxímetro a 1 cm de profundidade da superfície do solo em cada dossel, para determinação do fluxo de calor no solo;

- Um sensor de temperatura do ar 2m acima da superfície do solo;
- Na segunda fase do experimento, ou seja, no período chuvoso foram adicionados a cada torre, um sensor para medir a temperatura do solo na profundidade de 1cm e um pluviômetro no topo das torres para medir a precipitação.

Utilizou-se também um GPS (Geographic Position System) para se obter a localização precisa dos locais de observação na fazenda Solidão e na estação ecológica do seridó. Também com o intuito de monitorar-se o teor de umidade do solo foram coletadas semanalmente nas duas áreas em estudo, amostras do solo nas profundidades de 20, 40 e 60cm.

Todos os instrumentos, seus modelos e unidades adotados, estão descritos na

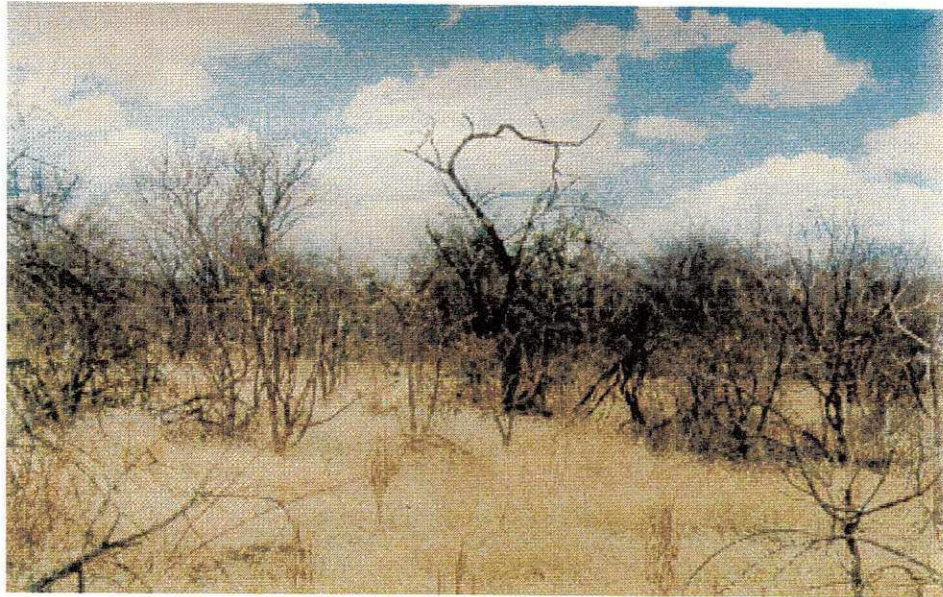
Tabela 3.1

INSTRUMENTOS	PARÂMETROS	UNIDADE	MODELO
Psicrômetro	Temperatura do Bulbo Seco e Úmido	°C	Termopares cobre- constantan
Anemômetro	Direção e Velocidade do Vento	m/s	R.M.Y. Modelo 03002
Piranômetro	Radiação Solar Global Incidente e Refletida	W/m ²	Modelo Eppley PSP
Saldo Radiômetro	Saldo de Radiação	W/m ²	Radiation Energy Balance Systems
Fluxímetro	Fluxo de Calor no Solo	W/m ²	Micromet Instruments
Sensor de Temperatura	Temperatura do Ar e do Solo	°C	Termopar
Pluviômetro	Precipitação	mm	TRP-525M Texas Eletronics Inc.

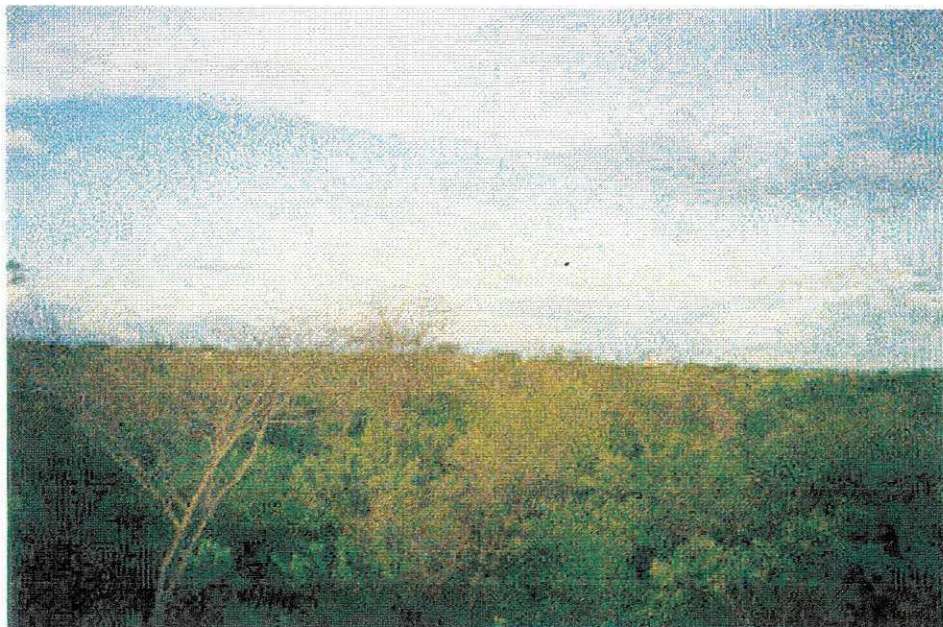
Tabela 3.1 – Caracterização dos instrumentos utilizados

3.3 - Aquisição dos dados

Os dados coletados nas duas áreas em estudo, foram armazenados automaticamente num sistema de aquisição de dados de alta resolução da Campbell, um micrologger 21X, com capacidade para 16 canais. As aquisições de todos os parâmetros foram efetuados em intervalos de 1 segundo, e a partir daí calculadas médias a cada 10 minutos. Após serem armazenados na memória do 21X, estes dados eram transferidos a cada 7 dias para um módulo de armazenamento, e em seguida armazenados em um microcomputador.



Quadro 3.2 - Imagem do dossel de caatinga durante o período seco



Quadro 3.3 - Imagem do dossel de algaroba durante o período seco



Quadro 3.4 - Imagem do dossel de caatinga durante o período chuvoso



Quadro 3.5 - Imagem do dossel de algaroba durante o período chuvoso

3.4 - Métodos

3.4.1 - Balanço de Radiação à Superfície

O balanço de radiação à superfície é dado pela soma dos fluxos de ondas curtas e ondas longas que chegam e saem da superfície, o qual é expresso pela seguinte equação:

$$R_n = (K\downarrow - K\uparrow) + (L\downarrow - L\uparrow) \quad (3.1)$$

onde $K\downarrow$ é a radiação solar global incidente, $K\uparrow$ é a radiação refletida pela superfície, $L\downarrow$ a radiação de ondas longas proveniente da atmosfera, $L\uparrow$ a radiação de onda longa emitida pela superfície e R_n é o saldo de radiação.

A equação (3.1) também pode ser rescrita de maneira a mostrar a influência da superfície nas trocas radiativas, conhecidos o albedo (r_c) e a temperatura da superfície (T_s):

$$R_n = (1 - r_c)K\downarrow + (L\downarrow - \varepsilon_s \sigma T_s^4) \quad (3.2)$$

onde ε_s é a emissividade da superfície e σ é a constante de Stefan-Boltzman igual a $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$.

3.4.1.1 - Balanço de Radiação de Ondas Curtas

A partir dos fluxos de radiação incidente e refletida, determinou-se o balanço de radiação de ondas curtas no topo de cada dossel, tomando-se como base a equação:

$$K^* = (K\downarrow - K\uparrow) \quad (3.3)$$

Quando não existem observações de radiação refletida ($K\uparrow$) e o albedo é conhecido, a equação (3.3) pode ser substituída pela equação:

$$K^* = (1 - r_c) K\downarrow \quad (3.4)$$

3.4.1.2 - Balanço de Radiação de ondas longas

Os métodos mais precisos para calcular a radiação de ondas longas da atmosfera, em dias de céu claro, requerem dados de perfil de umidade e temperatura. Contudo, como estes dados raramente estão disponíveis, modelos mais simples tem sido desenvolvidos baseados na Lei de Stefan-Boltzman:

$$L\downarrow = \epsilon_{ac} \sigma T_a^4 \quad (3.5)$$

onde ϵ_{ac} é a emissividade da atmosfera para dias de céu claro e T_a a temperatura do ar próximo a superfície.

Visando estimar a radiação térmica da atmosfera, para condições de céu claro, vários autores tem desenvolvido relações empíricas, visando obter ϵ_{ac} em função da pressão parcial de vapor, da temperatura do ar ou de ambas (Angström (1915 e 1936); Azevedo et al (1988); Brunt (1932); Brutsaert (1975); Idso and Jackson (1969); Swinbank (1963)).

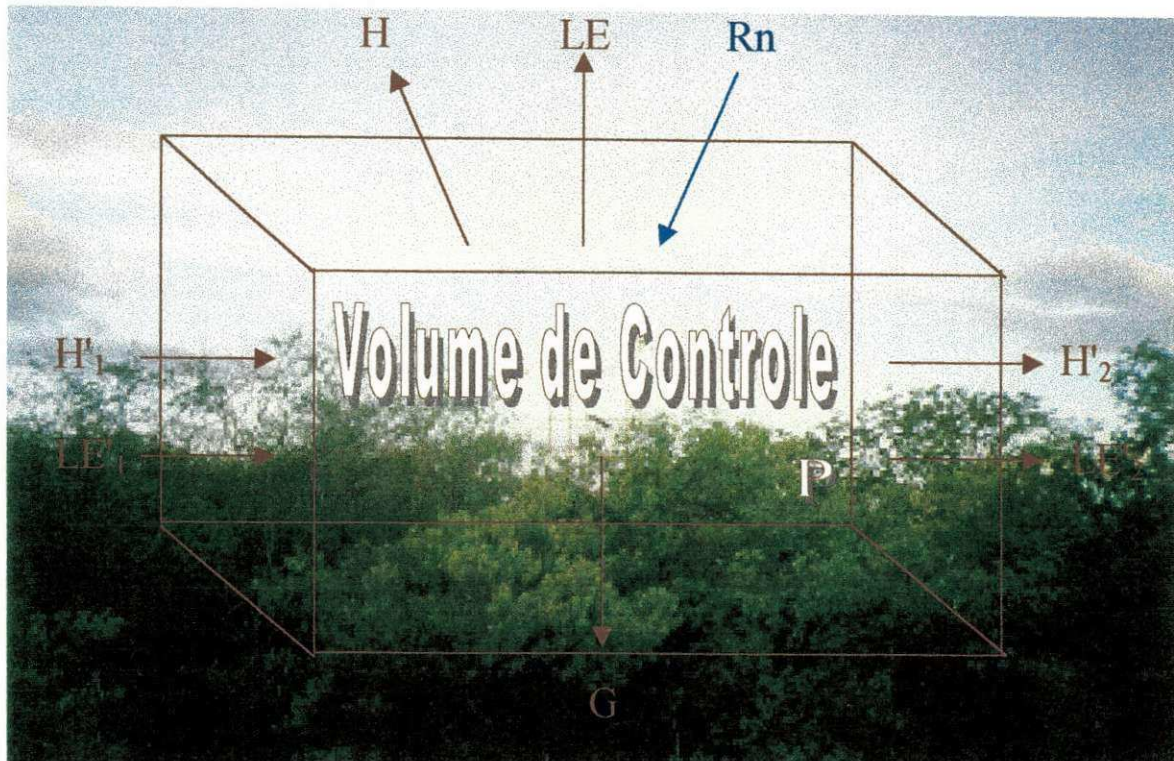
3.4.2 - Albedo

O albedo é a razão entre a radiação refletida e a radiação incidente. Deste modo, tomando-se como base as radiações incidente e refletida, observadas na faixa espectral de 0,3 a 3,0 μm , foi possível calcular para cada dossel, o albedo (r_c) da superfície. O albedo médio diário foi calculado efetuando-se a razão entre os valores instantâneos de radiação refletida e radiação incidente, ambos integrados diariamente durante cada período de observação, pela seguinte equação:

$$r_c = \frac{K \uparrow}{K \downarrow} \quad (3.6)$$

3.4.3 - Balanço de Energia à Superfície

Para que haja eficiência em qualquer estudo envolvendo um sistema, se faz necessário uma adequada caracterização do mesmo. No caso específico do balanço de energia em uma comunidade vegetal, é muito comum adotar-se para estudá-lo, um volume de controle. Deste modo, os fluxos no sistema solo-planta-atmosfera estão caracterizados no Quadro 3.6.



Quadro 3.6 – Representação esquemática do balanço de energia num volume de controle

onde LE é o fluxo de calor latente (sendo L o calor latente de vaporização da água e E a taxa de evaporação); H é o fluxo de calor sensível; G é o fluxo de calor no solo; P é a energia usada no processo fotossintético; H'_1 e H'_2 são os fluxos advectivos de calor sensível; LE'_1 e LE'_2 os fluxos advectivos de calor latente e Rn é o saldo de radiação; logo a equação completa do balanço de energia no volume de controle apresenta a seguinte forma:

$$Rn = LE + H + G + P + \Delta LE' + \Delta H' \quad (3.7)$$

Considerando que os fluxos advectivos (H'_1 , H'_2 , LE'_1 e LE'_2) quando se tem fecht adequado (superfície horizontal e uniforme para uma distância cerca de 100 vezes a altura medida, *Angus & Watts (1984)*) podem ser negligenciados, bem como a variação no

armazenamento de energia na biomassa por ser pequena é desprezível, logo a equação do balanço de energia pode ser expressa em sua forma simplificada como:

$$R_n = LE + H + G \quad (3.8)$$

3.4.4 - Estimativa da Evapotranspiração

3.4.4.1 - Método Combinado de Penman

Esse método se baseia na combinação do balanço de energia com os efeitos aerodinâmicos. Compreendendo a dificuldade de medidas de gradientes necessários aos métodos aerodinâmicos e do balanço de energia, Penman (1948) combinou ambos e encontrou uma equação aproximada que elimina a necessidade de medidas dos gradientes à superfície. Dentre os métodos que estimam a evapotranspiração potencial, o método de Penman é considerado o mais popular e é amplamente usado, o mesmo é dado pela seguinte equação:

$$ET_p = \frac{\Delta(R_n - G) + \gamma E_a}{\Delta + \gamma} \quad (3.9)$$

onde E_a representa o poder evaporante da superfície, expresso por:

$$E_a = f(u) (e_s - e_a) \quad (3.10)$$

em que e_s e e_a são respectivamente, a pressão de saturação do vapor d'água e pressão parcial do vapor e $f(u)$ função da velocidade do vento dado pela equação:

$$f(u) = 0,27 (1 + U/100) \quad (3.11)$$

onde U é a velocidade do vento a 2 metros de altura acima da superfície dada em m/s.

O parâmetro psicrométrico (γ) foi calculado pela expressão:

$$\gamma = \frac{(c_p P)}{0,622L} \quad (3.12)$$

onde $c_p = 0,24 \text{ cal g}^{-1} \text{ c}^{-1}$ é o calor específico do ar, P é a pressão atmosférica local em mb e L é o calor latente de vaporização o qual foi determinado pela expressão (Wright, 1982):

$$L = 595 - 0,51T_a \quad (3.13)$$

onde T_a ($^{\circ}\text{C}$) é a temperatura do ar.

O Δ - coeficiente angular da curva que relaciona pressão de saturação do vapor d'água e temperatura (mb/ $^{\circ}\text{C}$) – foi estimado pela expressão proposta por Wright, (1982):

$$\Delta = 33,3639 [0,05940 (0,00738 T_a + 0,8072)^7 - 3,42 \times 10^{-5}] \quad (3.14)$$

3.4.4.2 - Método da Razão de Bowen

O método micrometeorológico da razão de Bowen, que se baseia no balanço de energia, tem sido amplamente utilizado para estimar as perdas de água de superfícies vegetadas. Desde que possam ser medidos ou estimados com precisão os termos do balanço energético, a evapotranspiração pode ser determinada com bastante realidade, a partir de medidas micrometeorológicas relativamente fáceis de serem obtidas.

A razão entre o fluxo de calor sensível e o fluxo de calor latente é denominada “Razão de Bowen”, e expressa pela equação:

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (3.15)$$

Tomando-se a equação (3.8) do balanço de energia em sua forma simplificada e combinado-a com a equação (3.15), tem-se:

$$R_n = LE(1 + \beta) + G \quad (3.16)$$

Próximo a superfície do solo, o transporte turbulento de calor (H), de quantidade de movimento (τ) ou vapor d'água (LE) são dados por:

$$H = -\rho c_p K_h \left(\frac{\Delta T}{\Delta Z} \right) \quad (3.17)$$

$$LE = -\rho L K_w \left(\frac{\Delta q}{\Delta z} \right) \quad (3.18)$$

$$\tau = \rho K_m \left(\frac{\Delta u}{\Delta z} \right) \quad (3.19)$$

onde ρ é a densidade do ar, igual a $1,23 \text{ Kg/m}^3$; $c_p = 105 \text{ J.kg}^{-1} \text{ k}^{-1}$ o calor específico do ar à pressão constante; K_h , K_w e K_m (m^2/s) são os coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível, vapor d'água e quantidade de movimento respectivamente; L (J/kg) o calor latente de vaporização; $\Delta T/\Delta z$, $\Delta q/\Delta z$ e $\Delta u/\Delta z$ são os gradientes verticais médios de temperatura, umidade específica e velocidade do vento.

Assim, substituindo as equações (3.17) e (3.18) na equação (3.15), obtém-se:

$$\beta = \frac{c_p K_h \Delta T}{L K_w \Delta q} \quad (3.20)$$

Como para condições de neutralidade, os coeficientes de transferência turbulenta de calor sensível e vapor d'água são iguais ($K_h = K_w$), substituindo-se a umidade específica $\left(q = \frac{0,622 e}{p} \right)$ na equação (3.20) tem-se:

$$\beta = \frac{c_p p \Delta T}{0,622 L \Delta e} \quad (3.21)$$

onde e é a pressão parcial de vapor d'água (mb) e p é a pressão atmosférica à superfície também em mb.

Fazendo o parâmetro psicométrico $\gamma = \frac{c_p p}{0,622L}$ (mb/°C) e substituindo na equação (3.22), resulta:

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (3.23)$$

Agora substituindo a equação (3.23) na equação (3.16) resulta finalmente:

$$LE = \frac{(R_n - G)}{\left(1 + \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e}\right)} \quad (3.24)$$

Esse método estima o fluxo de calor latente, com base em medidas de saldo de radiação, fluxo de calor no solo e as diferenças de temperatura do ar e pressão parcial de vapor d'água entre os níveis z_1 e z_2 , sobre superfície vegetada. Este método é conhecido como Método do Balanço de Energia, segundo Budiko.

Segundo Verma e Rosemberg (1978), a suposição de igualdade entre os coeficientes de difusão turbulenta para o calor sensível e vapor d'água sob condições de advecção de calor sensível, pode causar erros significativos nas estimativas de LE efetuadas pelo método do balanço de energia (MBE). Para contornar o problema e corrigir estes erros, propuseram a seguinte expressão:

$$\frac{K_h}{K_w} = 2,95 + 3,72 \frac{\Delta T}{\Delta e} + 1,72 \left(\frac{\Delta T}{\Delta e} \right)^2 \quad (3.25)$$

$$-0,1 < \Delta T/\Delta e < -0,8$$

onde ΔT e Δe são as diferenças de temperatura e pressão de vapor, respectivamente, entre os níveis z_1 e z_2 , acima da superfície em estudo.

Substituindo a equação (3.25) na equação (3.20), obtém-se a nova razão de Bowen (β_c) corrigida:

$$\beta_c = \frac{Pc_p}{L\varepsilon} \left[2,95 + 3,72 \frac{\Delta T}{\Delta e} + 1,72 \left(\frac{\Delta T}{\Delta e} \right)^2 \right] \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (3.26)$$

Deste modo, a equação do balanço de energia à superfície finalmente pode ser escrita da seguinte forma:

$$R_n = LE (1 + \beta_c) + G \quad (3.27)$$

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Balanço de radiação à superfície

4.1.1 - Período seco (01/10/99 a 31/10/99)

Analisando-se a Figura 4.1, verifica-se que de uma forma geral o balanço de radiação médio diário nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco, não foi muito diferente, exceto, em algum dia particular. Isto pode ser confirmado através da Tabela 4.1, onde verifica-se que apenas o saldo de radiação (R_n) e a radiação global ($K\downarrow$) apresentaram pequena diferença. No entanto, fazendo-se uma análise do comportamento do R_n neste período, percebe-se através da Figura 4.2 que este parâmetro foi um pouco maior na maioria dos dias na área de algaroba, em média $0,7 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. Já em termos de $K\downarrow$, analisando-se a Figura 4.3 verifica-se que também este parâmetro na algaroba foi maior do que na caatinga cerca de $0,6 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$, embora estas áreas estejam distante uma da outra apenas 6,6 Km. Na tabela 4.1, são apresentados os totais diários médios do período dos componentes do balanço de radiação. Comparando-se os totais médios diários do R_n e da $K\downarrow$, verifica-se que durante este período o R_n representou 76,0 e 77,0% de $K\downarrow$ nas áreas de caatinga e algaroba, respectivamente. Na Tabela 4.2 são mostrados os resultados da regressão efetuada entre os

dados diários de $K\downarrow$ e R_n . Pode-se observar que houve uma boa correlação nas duas áreas e que o coeficiente de determinação (R^2) na área de caatinga foi bastante elevado 0,99.

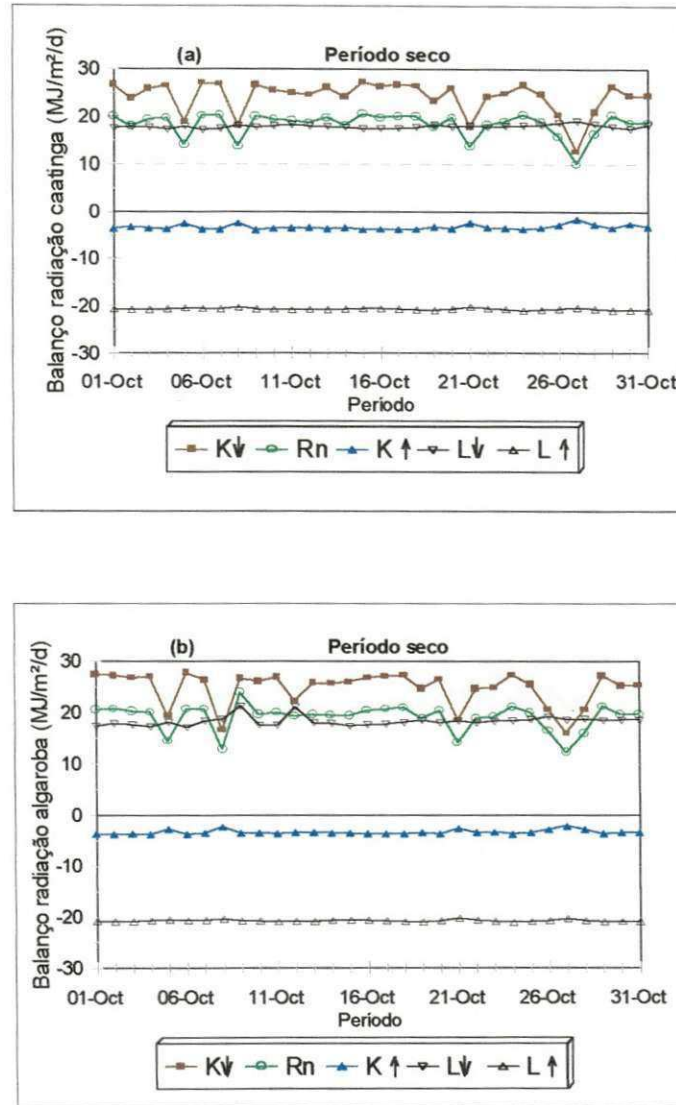


Figura 4.1 - Comportamento médio diário dos componentes do balanço de radiação durante o período seco: (a) caatinga; (b) algaroba

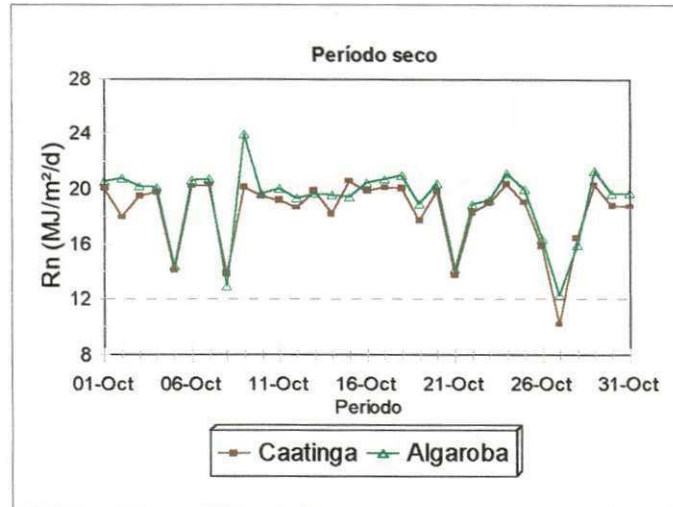


Figura 4.2 - Comportamento médio diário do saldo de radiação nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.

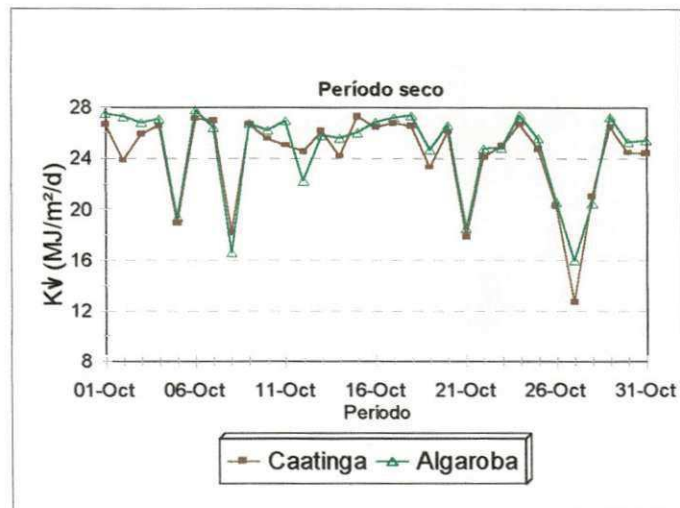


Figura 4.3 - Comportamento médio diário da radiação solar global nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.

TABELA 4.1 - TOTAIS MÉDIOS DIÁRIOS DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE RADIAÇÃO NO PERÍODO SECO E CHUVOSO

FLUXOS (MJ.m ⁻² .d ⁻¹)	PERÍODO SECO		PERÍODO CHUVOSO	
	CAATINGA	ALGAROBA	CAATINGA	ALGAROBA
R _n	18,4	19,1	16,8	17,0
K _↓	24,2	24,8	21,8	21,7
K _↑	- 3,2	- 3,3	- 2,9	- 2,6
L _↓	18,0	18,3	18,1	18,0
L _↑	- 20,6	- 20,7	- 20,2	- 20,1

TABELA 4.2 - RESULTADOS DA REGRESSÃO LINEAR DIÁRIA ENTRE O SALDO DE RADIAÇÃO E A RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DURANTE O PERÍODO SECO

ÁREA	REGRESSÃO	COEFICIENTES OBTIDOS		
		a	b	R ²
CAATINGA	R _n = a + bK _↓	0,85	0,73	0,99
ALGAROBA	R _n = a + bK _↓	0,69	0,70	0,90

Em termos de reflectância média diária, apresentada na Figura 4.4, onde os valores negativos representa apenas perda, verifica-se que praticamente houve igualdade entre as duas áreas, e de acordo com a Tabela 4.1 os valores médios diários para as áreas de caatinga e algaroba foram 3,2 e 3,3 MJ.m⁻².d⁻¹, respectivamente. Esta situação em termos de média diária, chama a atenção pelo fato de que estas superfícies apresentavam-se muito diferentes nesta época, pois, enquanto a caatinga estava quase completamente seca e sem folhagem, a algaroba estava verde. Logo, isto só pode estar associado a uma maior ocorrência de precipitação na área de caatinga do que na área de algaroba. Como neste período não foram feitas medidas de precipitação nas duas áreas, sabe-se apenas que choveu na Estação Ecológica, local intermediário entre as duas áreas 1,0mm no dia 26/10/99 e 7,5mm no dia 27/10/99. Realmente observou-se pelo aspecto visual do solo que na caatinga choveu mais do que na algaroba. Na Figura 4.5 é mostrado uma comparação do saldo médio diário de radiação de ondas curtas ($K\downarrow - K\uparrow$) para as duas áreas. Verifica-se que em média durante este período, o saldo foi maior na área de algaroba cerca de 0,4 MJ.m⁻².d⁻¹ conforme pode ser observado na Tabela 4.3.

TABELA 4.3 - TOTAIS MÉDIOS DIÁRIOS DO SALDO DE RADIAÇÃO DE ONDAS CURTAS E DE ONDAS LONGAS DURANTE OS PERÍODOS SECO E CHUVOSO

SALDO (MJ.m ⁻² .d ⁻¹)	PERÍODO SECO		PERÍODO CHUVOSO	
	CAATINGA	ALGAROBA	CAATINGA	ALGAROBA
$K\downarrow - K\uparrow$	21,0	21,4	18,9	19,2
$L\downarrow - L\uparrow$	-2,6	-2,3	-2,1	-2,1

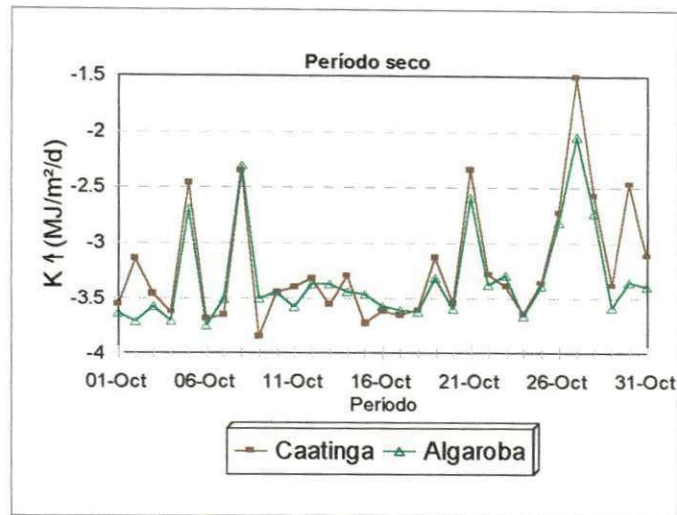


Figura 4.4 - Comportamento médio diário da radiação solar refletida nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.

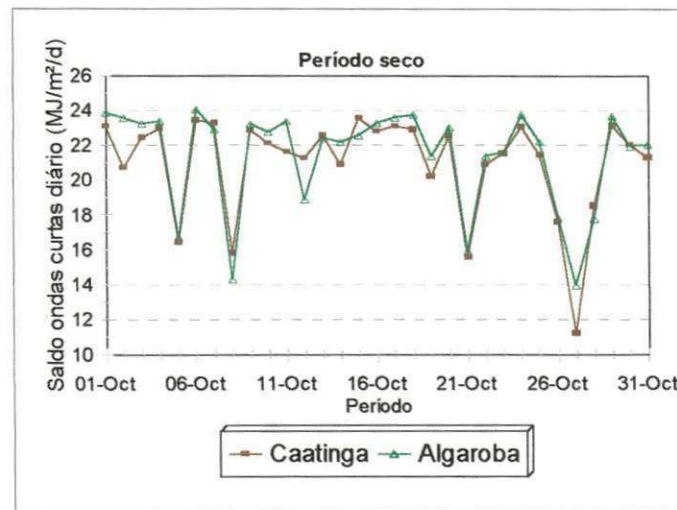


Figura 4.5 - Comportamento médio diário do saldo de ondas curtas nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.

Já o albedo médio diário conforme é mostrado na Tabela 4.4, também, foi praticamente igual nas duas áreas 13,3 e 13,4%. No entanto, verifica-se através da Figura 4.6, que o albedo médio diário ao longo deste período experimental, em função da maior precipitação na área de caatinga já comentado, e conseqüentemente da maior umidade do solo, teve a partir do dia 27/10/99, uma redução significativa nesta área, como resultado de uma maior absorção de radiação pela superfície. A área de caatinga fica distante da Estação Ecológica, apenas 2,2 Km, e 6,6 Km da área de algaroba.

TABELA 4.4 - VALORES MÉDIOS DIÁRIOS DO ALBEDO DURANTE OS PERÍODOS SECO E CHUVOSO

ÁREA	ALBEDO MÉDIO DIÁRIO (%)	
	Período seco	Período chuvoso
CAATINGA	13,3	13,2
ALGAROBA	13,4	12,0

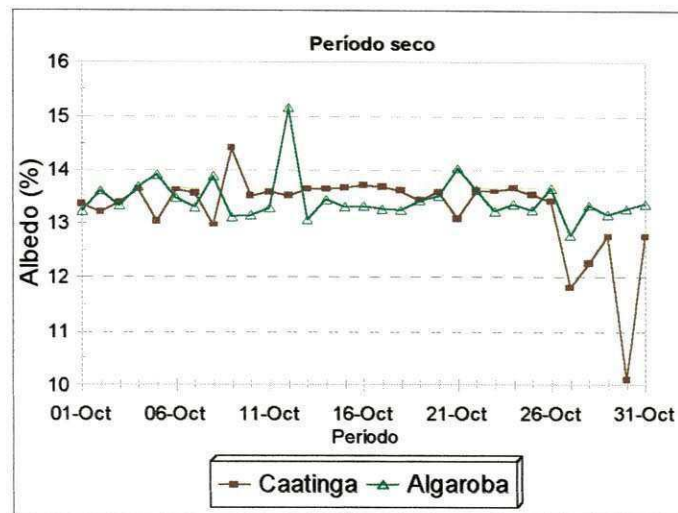


Figura 4.6 - Comportamento médio diário do albedo nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.

No caso da radiação média diária de ondas longas proveniente da atmosfera (L_{\downarrow}), verifica-se através da Figura 4.7, que nas duas áreas, exceto nos dias 09 e 12/10/99, não houve diferença significativa entre os valores médios diários, ou seja, na algaroba nestes dois dias, L_{\downarrow} foi bem maior do que na caatinga. Da mesma forma, percebe-se na Figura 4.8, que a radiação de ondas longas emitida pela superfície do dossel de algaroba, durante todo período foi maior do que na caatinga. Como consequência, o saldo de radiação de ondas longas mostrado na Figura 4.9, foi na maioria dos dias maior na área de caatinga, e conforme pode ser observado na Tabela 4.3, em média este índice foi de $0,3 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. Por último, analisando-se a razão entre as radiações de ondas longas emitida pelas superfícies dos dois dosséis e proveniente da atmosfera, apresentada na Figura 4.10, verifica-se que na maioria dos dias, esta foi um pouco maior na área de caatinga e de acordo com os dados apresentados na Tabela 4.5, esta razão foi 114,4% na área de caatinga e 112,8% na área de algaroba.

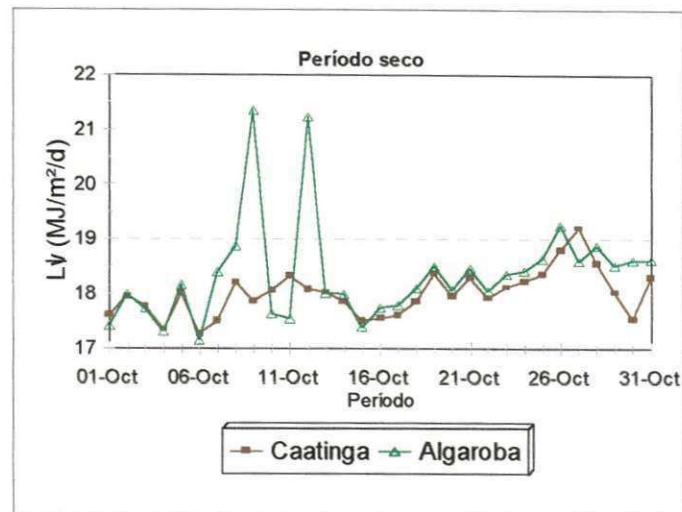


Figura 4.7 - Comportamento médio diário da radiação de ondas longas proveniente da atmosfera nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.

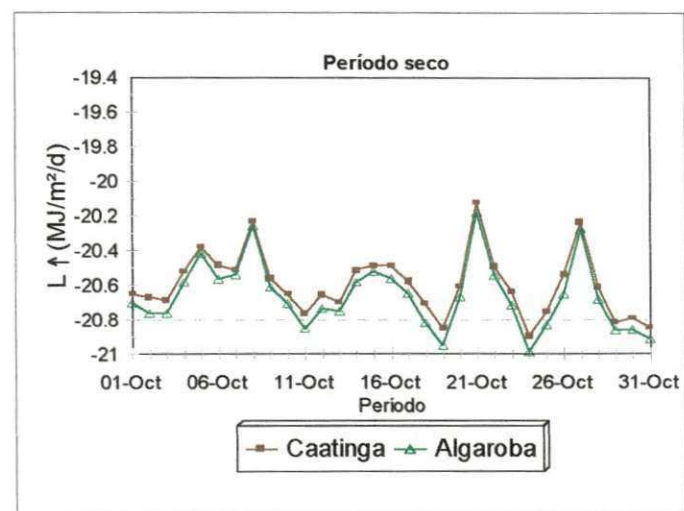


Figura 4.8 - Comportamento médio diário da radiação de ondas longas emitida pela superfície dos dosséis de caatinga e algaroba durante o período seco.

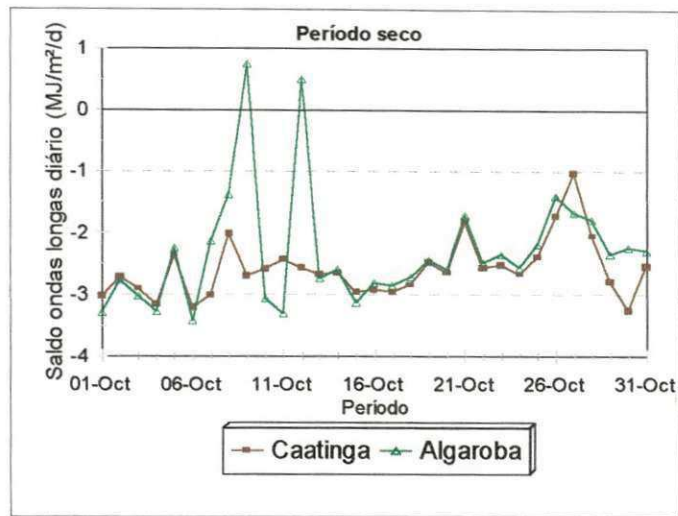


Figura 4.9 - Comportamento médio diário do saldo de ondas longas nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.

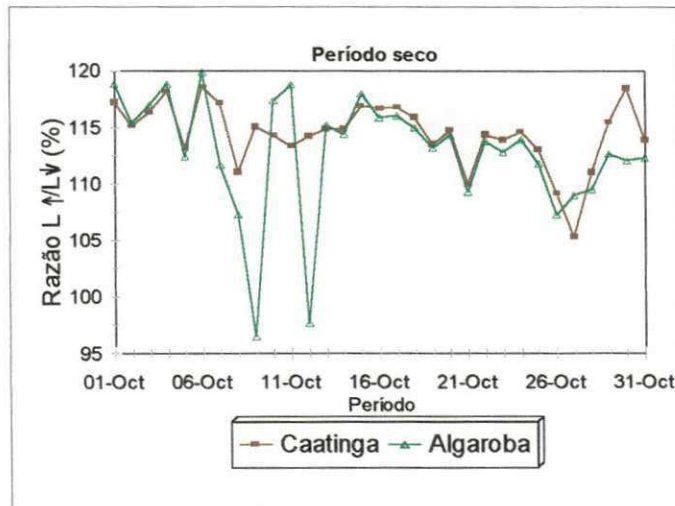


Figura 4.10 - Comportamento médio diário da razão entre a radiação de onda longa emitida pela superfície e proveniente da atmosfera nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.

TABELA 4.5 - VALORES MÉDIOS DIÁRIOS DA RAZÃO DE ONDAS LONGAS NOS PERÍODOS SECO E CHUVOSO

RAZÃO (%)	PERÍODO SECO		PERÍODO CHUVOSO	
	CAATINGA	ALGAROBA	CAATINGA	ALGAROBA
L↑/L↓	114,4	112,8	111,6	111,8

A Figura 4.11 ilustra o comportamento médio horário dos componentes do balanço de radiação, ao longo do dia durante o período seco. As curvas indicam que os valores de radiação solar global, radiação refletida e saldo de radiação diários, foram máximos entre 11 e 13h, tanto na área de caatinga, como na área de algaroba. Já as curvas correspondentes as radiações atmosférica e terrestre, mostram uma pequena tendência de aumento ao longo dia, ou seja, a medida que a temperatura foi aumentando no decorrer do dia, essas radiações também aumentaram lentamente.

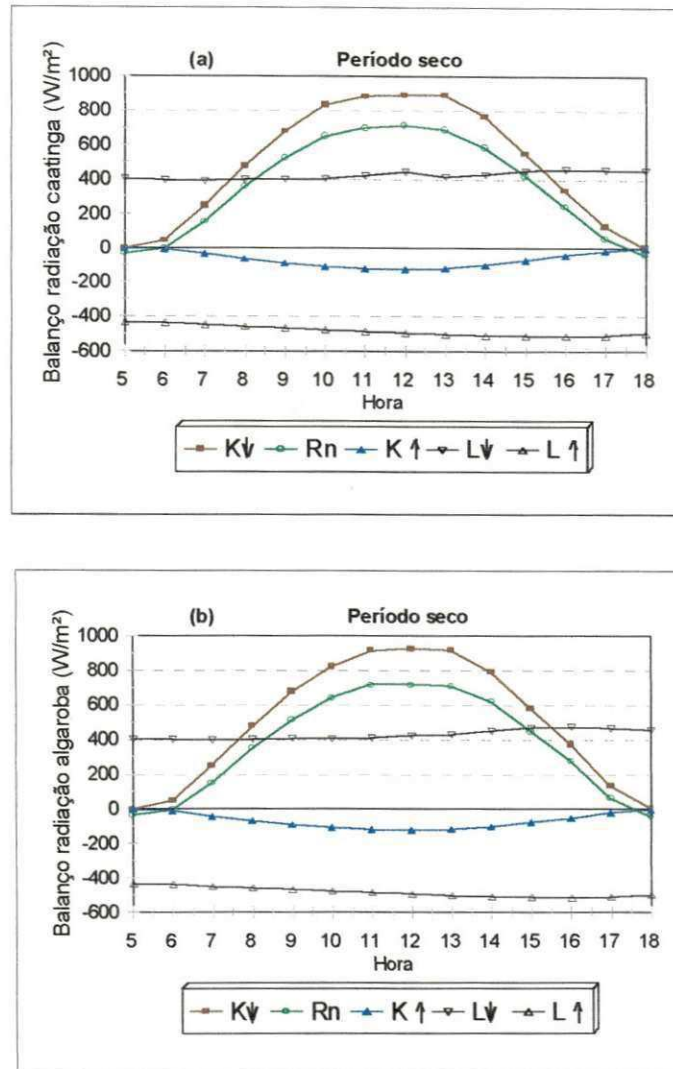


Figura 4.11 - Comportamento médio horário dos componentes do balanço de radiação durante o período de seco: (a) caatinga; (b) algaroba.

Analisando a Figura 4.12, que mostra a evolução diária da radiação solar global durante o período seco, verifica-se que este parâmetro foi praticamente igual nas duas áreas, no horário de 05 às 11h e um pouco maior na área de algaroba entre 11 e 17h. Fazendo uma análise da Figura 4.13, percebe-se também que o saldo de radiação teve o mesmo comportamento nas duas áreas.

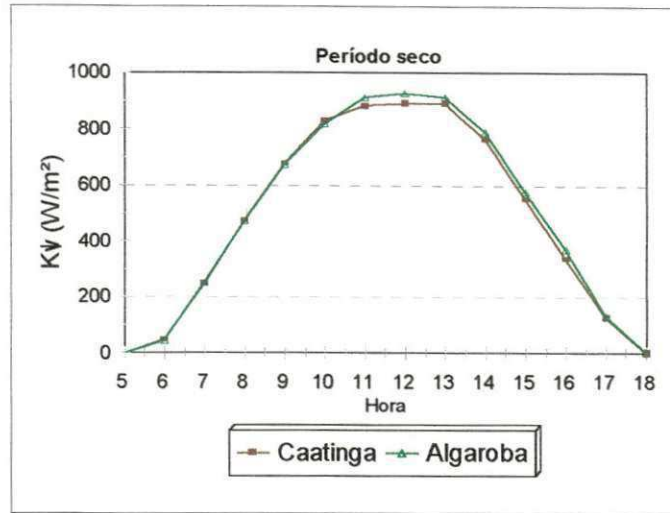


Figura 4.12 - Comportamento médio horário da radiação solar global nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.

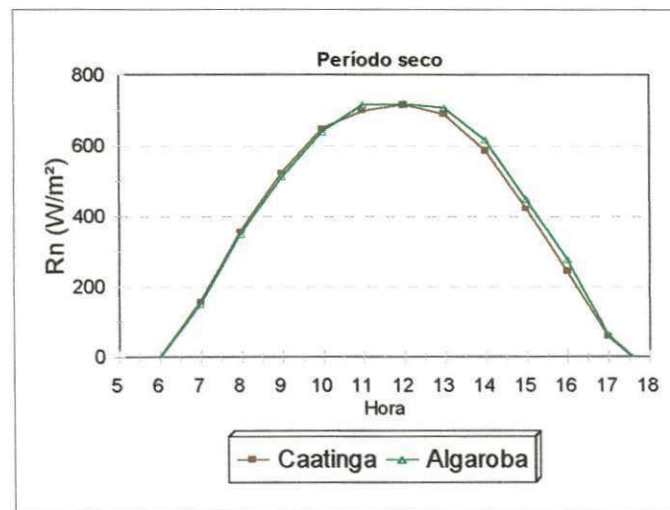


Figura 4.13 - Comportamento médio horário do saldo de radiação nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.

Já a radiação refletida média horária deste período, apresentada na Figura 4.14, foi maior na área de caatinga entre 09 e 14h, enquanto nos outros horários do período diurno, foi maior na área de algaroba. Por outro lado, observa-se através da Figura 4.15 que o albedo médio horário entre 10 e 14h, foi superior na área de caatinga, enquanto nos outros horários foi menor.

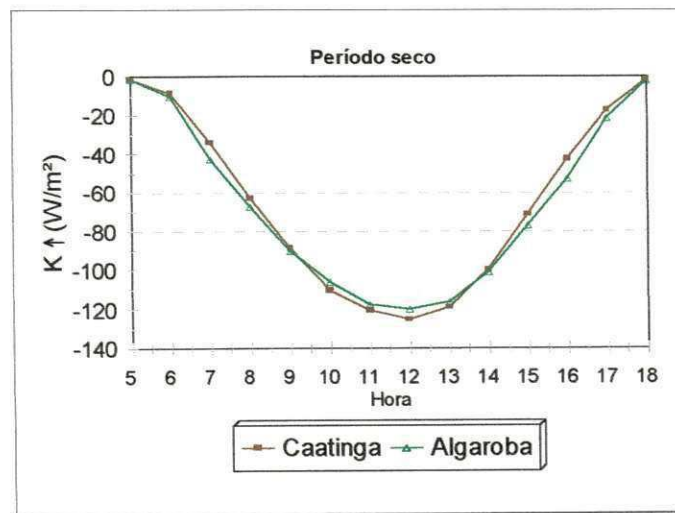


Figura 4.14 - Comportamento médio horário da radiação solar refletida nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.

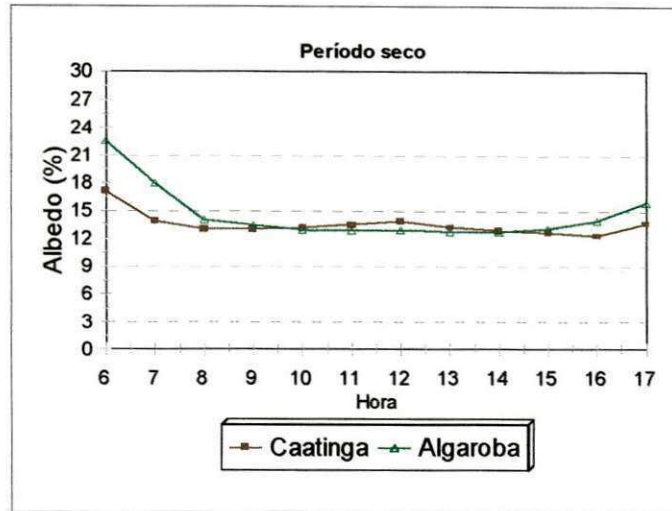


Figura 4.15 - Comportamento médio horário do albedo nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.

A Figura 4.16 mostra que a radiação atmosférica média horária nas duas áreas, apresentou valores máximos entre 15 e 17h, com valores na área de algaroba um pouco mais elevados. Já a radiação terrestre média horária, conforme pode ser observado na Figura 4.17, foi praticamente igual em ambas as áreas entre 05 e 13h e pouco maior na área de algaroba após 13h. A exemplo do que ocorreu com a radiação atmosférica, os valores máximos da radiação terrestre média horária nas duas áreas, também ocorreu entre 15 e 17h.

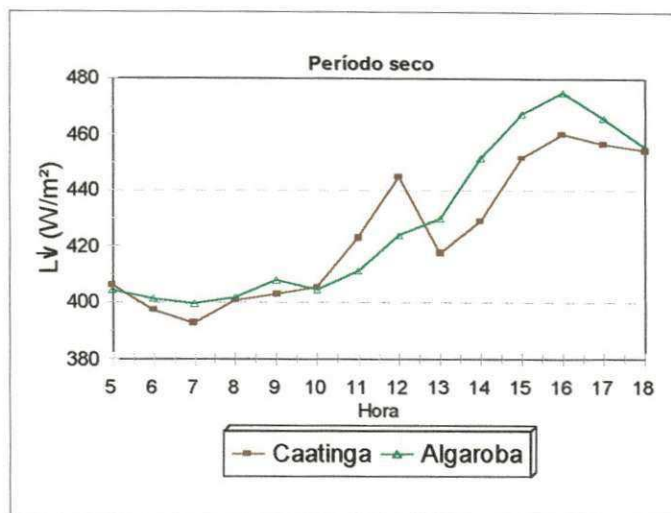


Figura 4.16 - Comportamento médio horário da radiação de ondas longas proveniente da atmosfera nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.

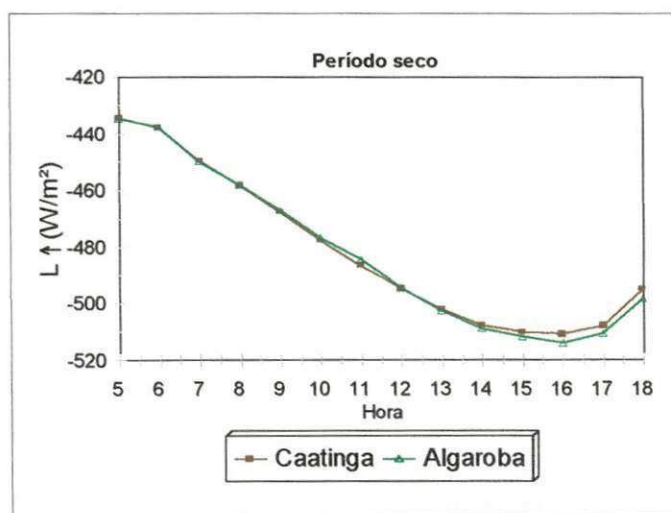


Figura 4.17 - Comportamento médio horário da radiação de ondas longas emitida pela superfície dos dosséis nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco.

4.2.1 - Período chuvoso (09/03/00 a 08/04/00)

Observa-se na Figura 4.18 que de um modo geral, o comportamento dos componentes do balanço de radiação médio diário, durante o período chuvoso nas áreas de caatinga e algaroba difere muito pouco, visto que os valores são muito próximos. Isto é confirmado observando-se a Tabela 4.1, onde verifica-se que só o saldo de radiação (R_n) médio diário, foi um pouco menor na área de caatinga do que na algaroba, enquanto todos os outros componentes do balanço de radiação médio horário foram pouco maiores na área de caatinga. Da mesma forma, verifica-se na figura 4.19 que o comportamento médio diário de R_n durante este período, foi um pouco maior na área de algaroba do que na caatinga na maioria dos dias, em média cerca de $0,2 \text{ MJ.m}^{-2}\text{d}^{-1}$. Em termos de radiação solar global ($K\downarrow$) média diária, verifica-se na Figura 4.20 que este parâmetro na área de algaroba foi menor do que na caatinga, em média $0,1 \text{ MJ.m}^{-2}\text{d}^{-1}$. Na Tabela 4.1 são apresentados os totais médios diários para este período dos componentes do balanço de radiação, onde verifica-se que o saldo de radiação médio diário representou 77,1 e 78,3% da radiação solar global média diária nas áreas de caatinga e algaroba, respectivamente. Na Tabela 4.6 são mostrados os resultados da regressão efetuada entre os dados diários de $K\downarrow$ e R_n . Pode ser observado que houve uma boa correlação entre estes parâmetros nas duas áreas e que o coeficiente de determinação (R^2) na área de caatinga, também neste período chuvoso, foi bastante elevado 0,99.

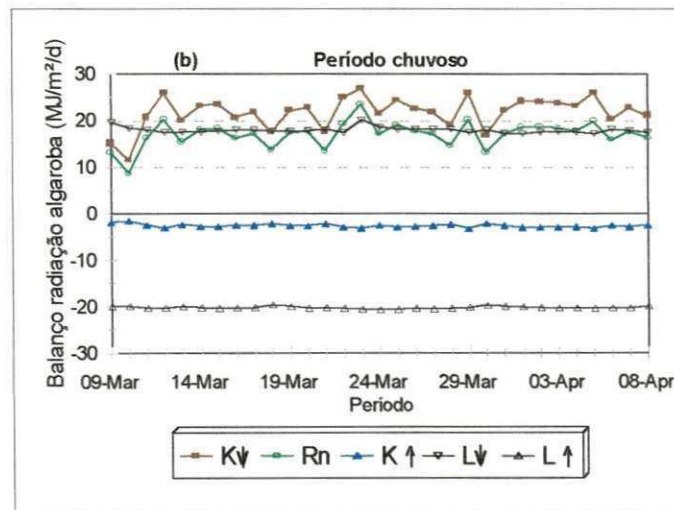
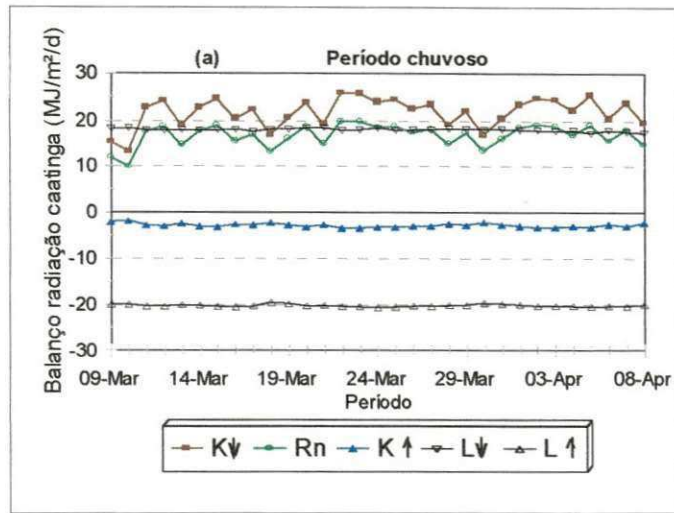


Figura 4.18 - Comportamento médio diário dos componentes do balanço de radiação durante o período chuvoso: (a) caatinga; (b) algaroba

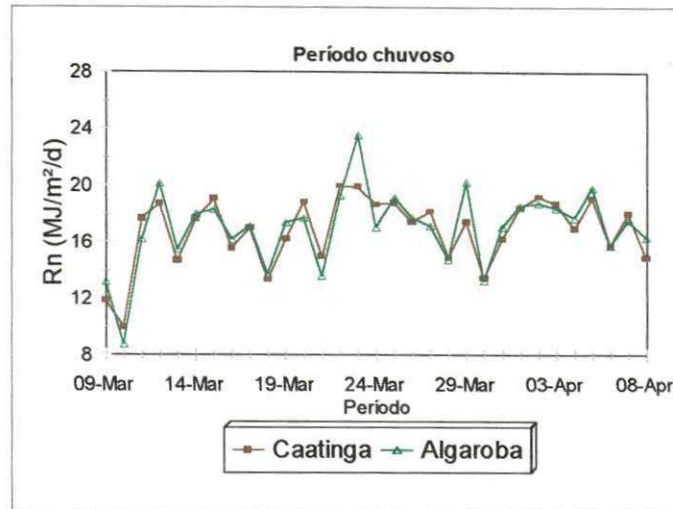


Figura 4.19 - Comportamento médio diário do saldo de radiação nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.

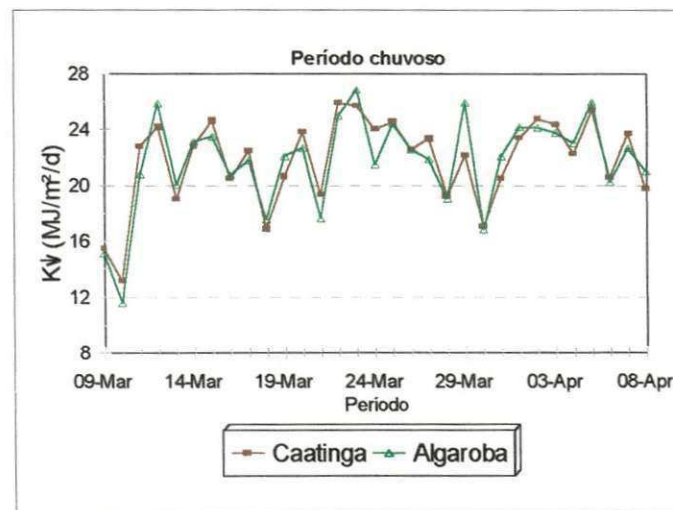


Figura 4.20 - Comportamento médio diário da radiação solar global nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.

TABELA 4.6 - RESULTADOS DA REGRESSÃO LINEAR DIÁRIA ENTRE O SALDO DE RADIAÇÃO E A RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DURANTE O PERÍODO CHUVOSO

ÁREA	REGRESSÃO	COEFICIENTES OBTIDOS		
		a	b	R ²
CAATINGA	$R_n = a + bK_{\downarrow}$	0,06	0,77	0,99
ALGAROBA	$R_n = a + bK_{\downarrow}$	- 0,16	0,79	0,96

A Figura 4.21 mostra que em termos de reflectância média diária na área de caatinga, na maioria dos dias, foi maior do que na área de algaroba, em média $0,3 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. Isto provavelmente estar relacionado ao fato de que, a vegetação da área de caatinga neste período, tinha maior cobertura foliar do que a área de algaroba e também porque a esta última, absorveu mais radiação durante este período, devido a maior precipitação, ilustrada na Figura 22a. Logo, o solo nesta área conforme mostra Figura 4.22b, esteve bem mais úmido do que na área de caatinga, consequentemente refletiu menos radiação. Analisando o saldo médio diário de radiação de ondas curtas para as duas áreas mostrado na Figura 4.23, verifica-se que houve uma pequena predominância na área de algaroba, em média $0,2 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$, conforme mostra a Tabela 4.3.

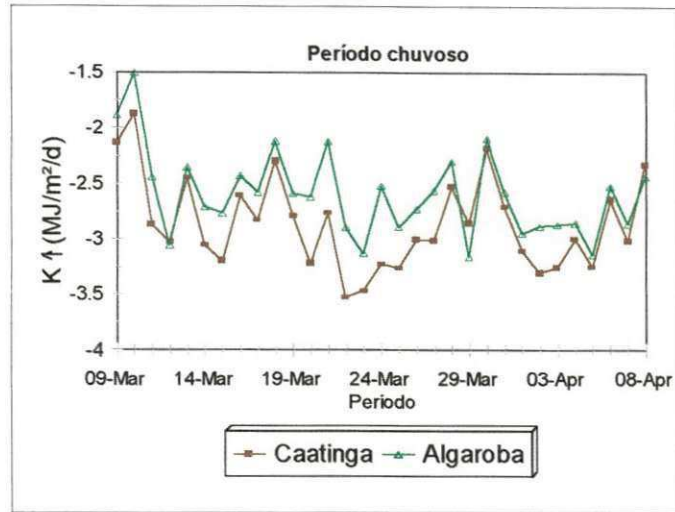


Figura 4.21 - Comportamento médio diário da radiação solar refletida nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.

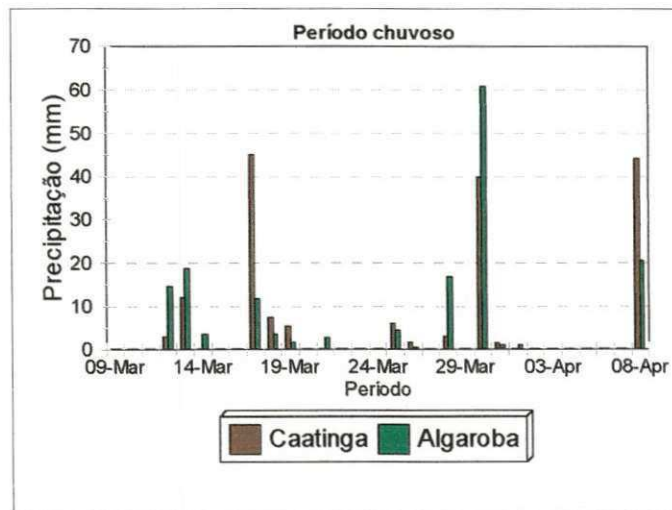


Figura 22a - Comportamento diário da precipitação durante o período chuvoso nas áreas de caatinga e algaroba

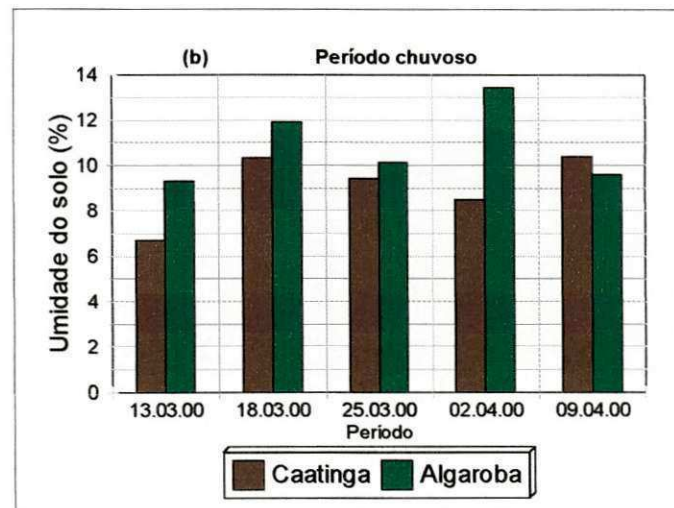
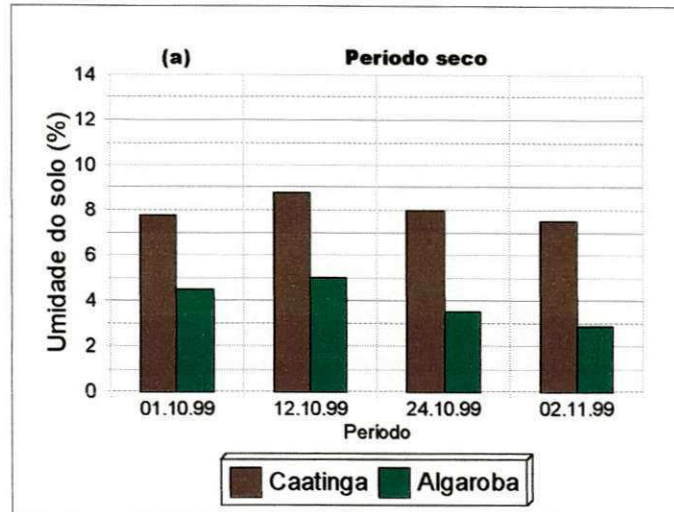


Figura 4.22b - Comportamento semanal da umidade do solo nas áreas de caatinga e algaroba: (a) período seco; (b) período chuvoso.

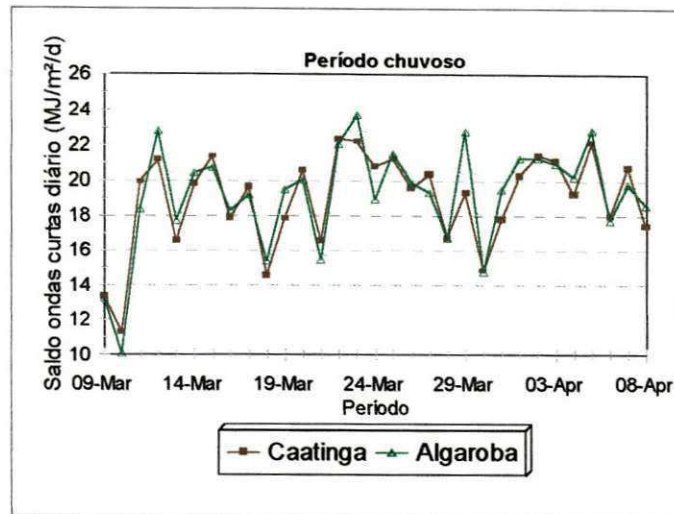


Figura 4.23 - Comportamento médio diário do saldo de ondas curtas nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.

Como consequência deste comportamento da reflectância durante este período chuvoso, pode se ver na Figura 4.24, que o comportamento do albedo médio diário, foi sempre maior na área de caatinga do que na área de algaroba, em média 1,2%, como indica a Tabela 4.4.

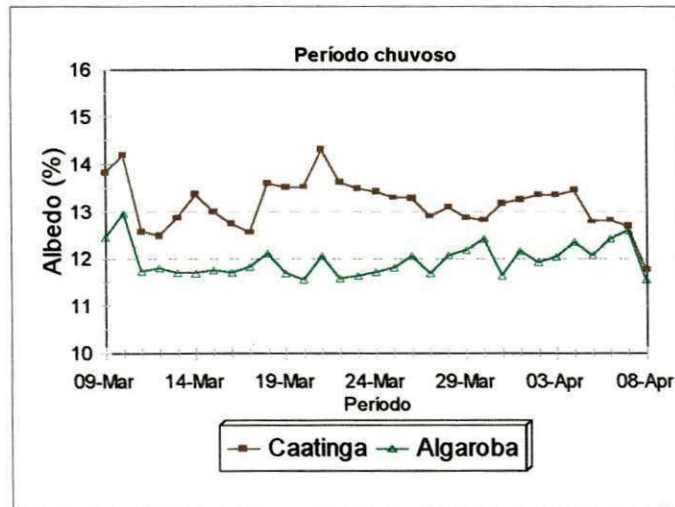


Figura 4.24 - Comportamento médio diário do albedo nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.

Em termos de radiação de ondas longas média diária, observa-se nas Figuras 4.25 e 4.26 que as curvas das radiações de ondas longas proveniente da atmosfera e emitida pela superfície respectivamente, foram um pouco maiores na área de caatinga, em média $0,1 \text{ MJ.m}^{-2}\text{d}^{-1}$, como mostra a Tabela 4.1. Já na Figura 4.27 o comportamento do saldo médio diário de radiação de ondas longas indica que houve pouca diferença entre as duas áreas, e conforme indica a Tabela 4.3, o valor médio diário deste saldo em ambas as áreas foi de $2,1 \text{ MJ.m}^{-2}\text{d}^{-1}$. Na Figura 4.28 é apresentada a curva da razão entre as radiações médias diárias terrestre e atmosférica, onde percebe-se que na maioria dos dias esta razão foi um pouco maior na área de algaroba. Na Tabela 4.5, verifica-se que essas razões foram menores do que no período seco, 111,6% na caatinga e 111,8% na algaroba.

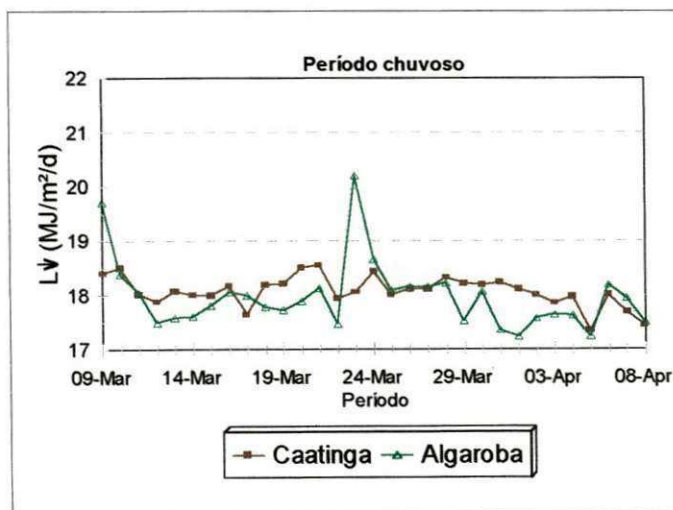


Figura 4.25 - Comportamento médio diário da radiação de ondas longas proveniente da atmosfera nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.

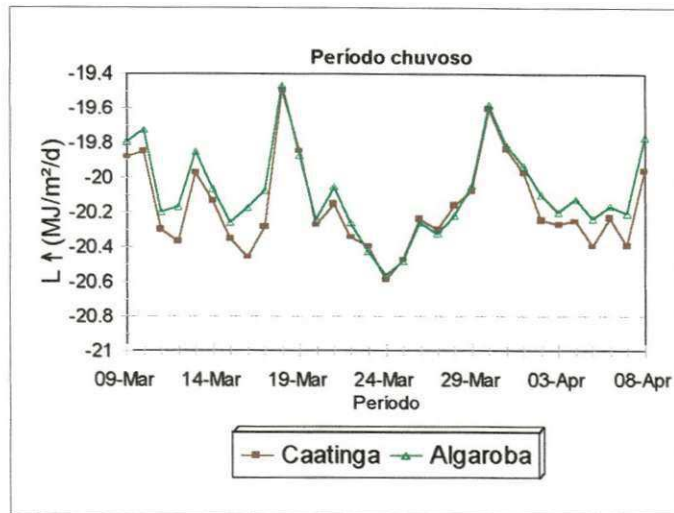


Figura 4.26 - Comportamento médio diário da radiação de ondas longas emitida pela superfície dos dosséis nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.

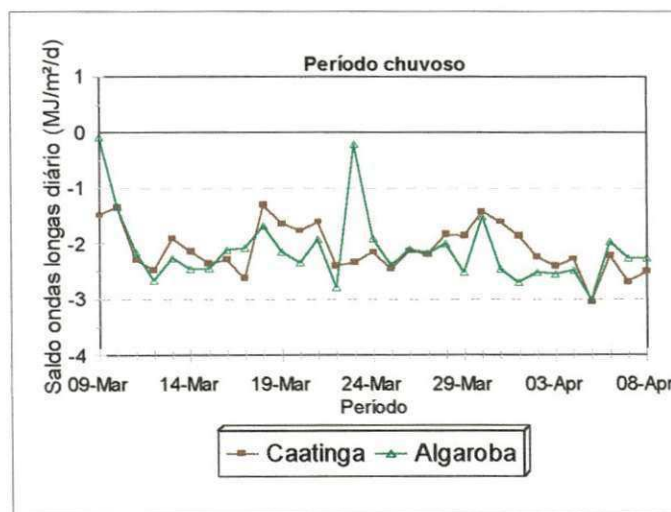


Figura 4.27 - Comportamento médio diário do saldo de ondas longas nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.

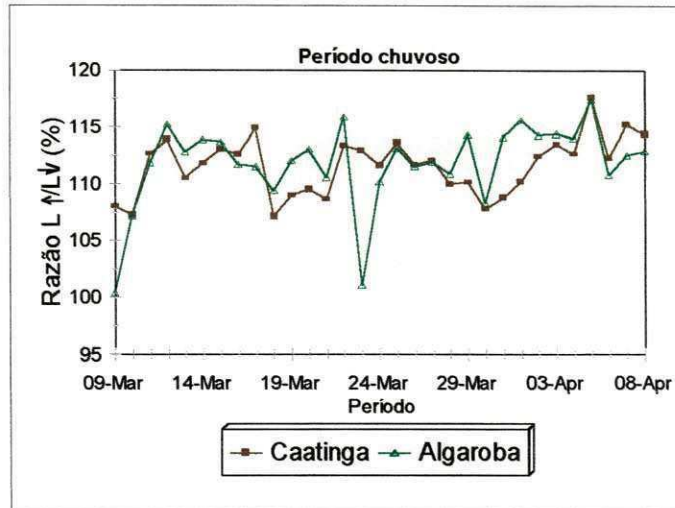


Figura 4.28 - Comportamento médio diário da razão entre a radiação de onda longa emitida pela superfície e proveniente da atmosfera nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.

A Figura 4.29 ilustra o comportamento médio horário dos componentes do balanço de radiação, ao longo do dia durante o período chuvoso. As curvas mostram que os valores da radiação solar global ($K\downarrow$), radiação refletida ($K\uparrow$) e saldo de radiação (R_n) diários foram máximos entre 11 e 13h, nas duas áreas. Já as curvas correspondentes as radiações atmosférica ($L\downarrow$) e terrestre ($L\uparrow$), também como no período seco, mostram uma pequena tendência de aumento ao longo do dia.

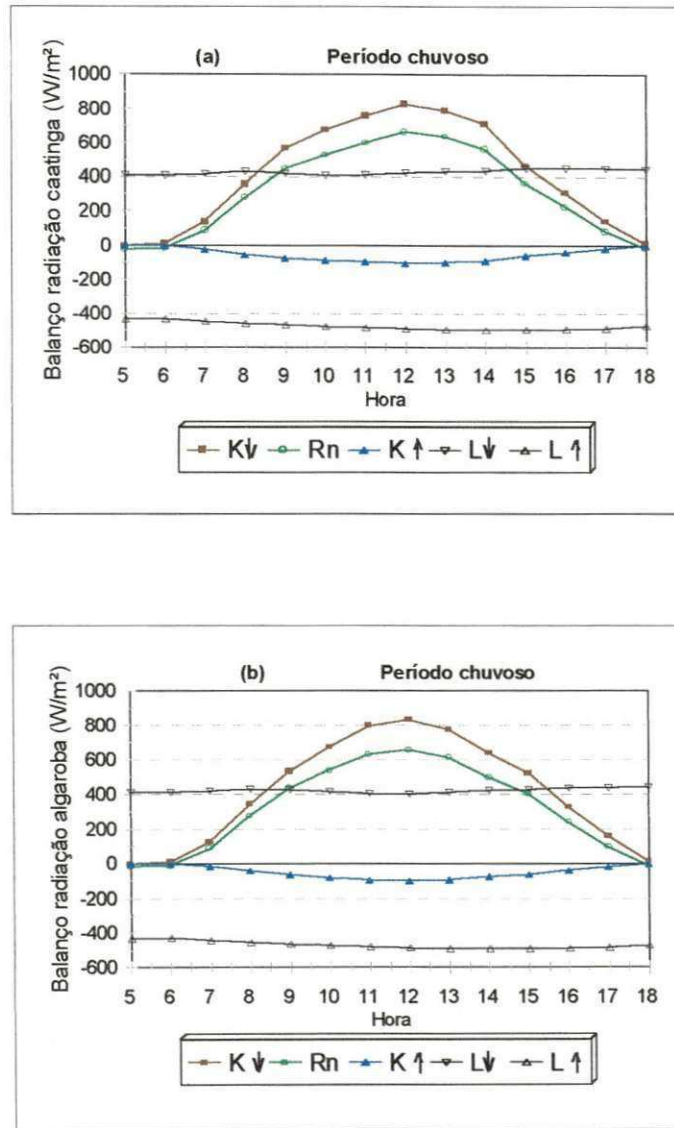


Figura 4.29 - Comportamento médio horário dos componentes do balanço de radiação durante o período chuvoso: (a) caatinga; (b) algaroba

Analisando a Figura 4.30, verifica-se que a radiação solar global média horária foi um pouco menor na área de algaroba de 6 às 14h, exceto entre 10 e 12h e maior entre 15 e 18h. Na Figura 4.31 verifica-se que o saldo de radiação médio horário foi praticamente igual nas duas áreas de 6 às 10h e maior na algaroba entre 10 e 18h, exceto de 12 às 15h.

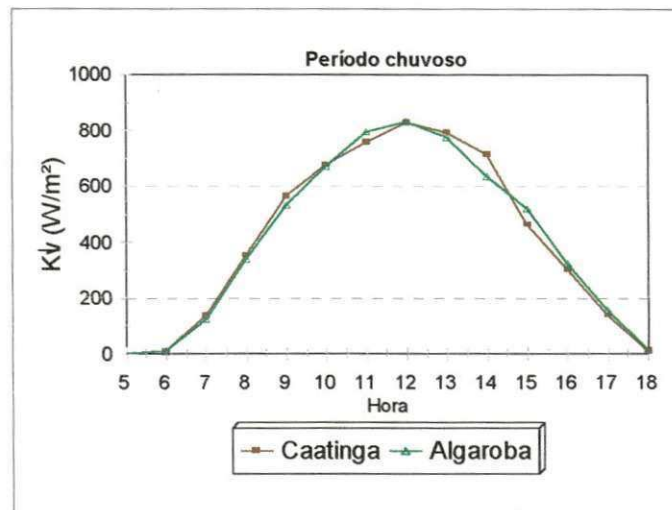


Figura 4.30 - Comportamento médio horário da radiação solar global nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso.

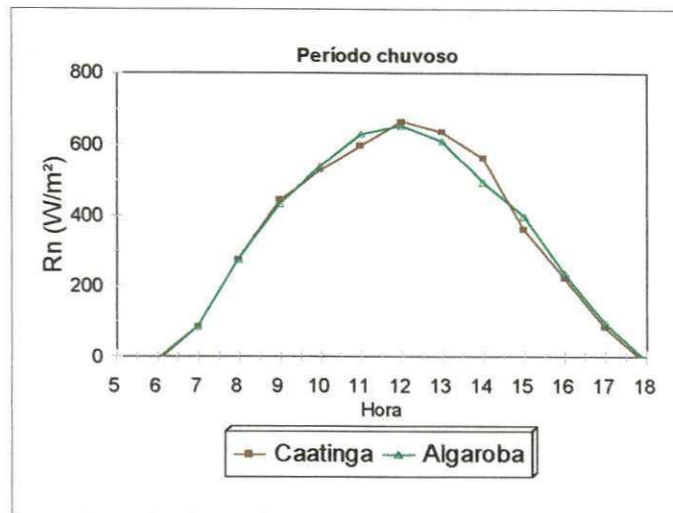


Figura 4.31 - Comportamento médio horário do saldo de radiação nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso

A radiação refletida média horária apresentada na Figura 4.32, foi ao longo do dia maior na área de caatinga. Como consequência desta maior reflectância na área de caatinga, o albedo médio horário apresentado na Figura 4.33 também foi maior nesta área durante todo o dia.

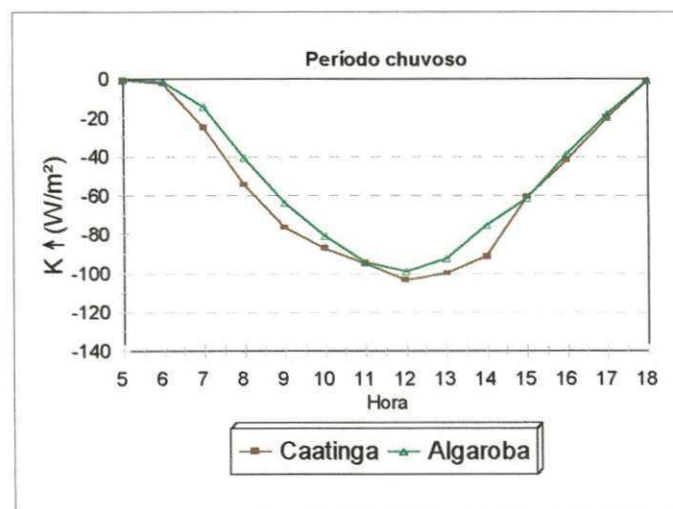


Figura 4.32 - Comportamento médio horário da radiação solar refletida nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso

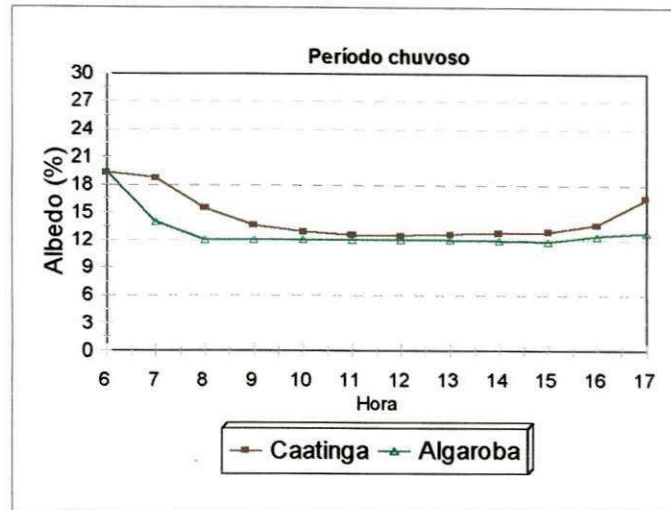


Figura 4.33 - Comportamento médio horário do albedo nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso

A Figura 4.34 mostra que a radiação atmosférica média horária, apresentou comportamento praticamente igual pela manhã, comparado com o período seco, ou seja, foi maior na área de algaroba no período da manhã entre 5 e 11h, e praticamente oposto durante a tarde, pois neste período chuvoso esta radiação foi menor na algaroba entre 11 e 18h. Em termos de radiação terrestre média horária, conforme observa-se na Figura 4.35 foi sempre um pouco maior na área de caatinga do que na área de algaroba, mostrando uma tendência de acompanhamento do aumento da temperatura. Em ambas as áreas os valores de $L\uparrow$ foram máximos entre 13 e 15h.

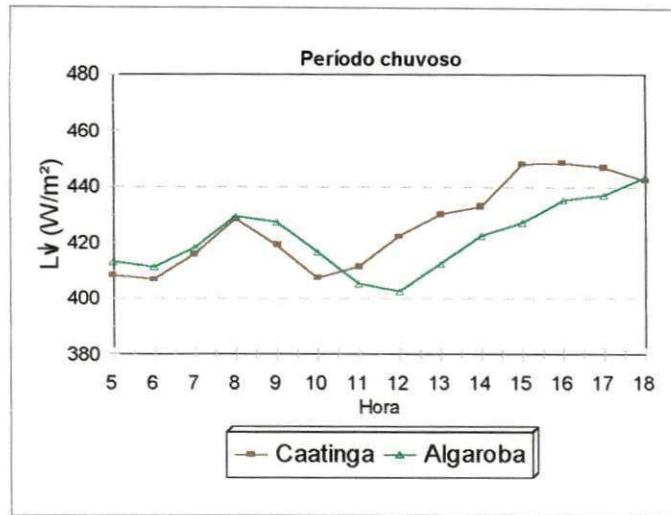


Figura 4.34 - Comportamento médio horário da radiação de ondas longas proveniente da atmosfera nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso

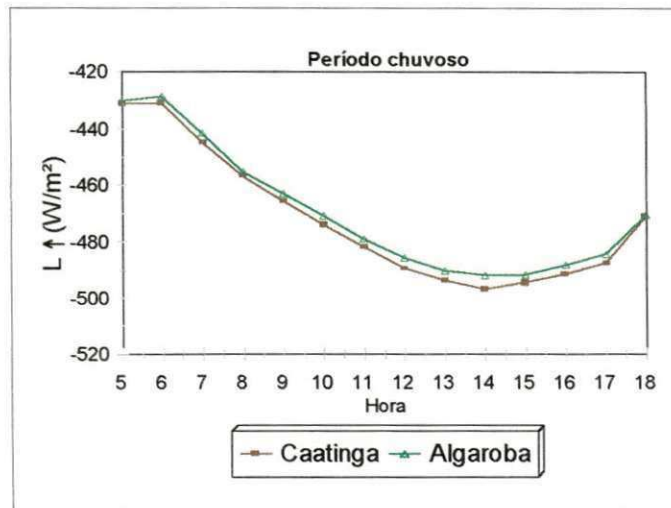


Figura 4.35 - Comportamento médio horário da radiação de ondas longas emitida pela superfície dos dosséis nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso

4.2 - Balanço de energia

4.2.1 - Período seco (01/10/99 a 31/10/99)

Analisando-se a Figura 4.36, verifica-se que durante o período seco, houve diferença entre os balanços de energia médio diário das duas áreas, ou seja, enquanto o saldo de radiação médio diário (R_n) foi um pouco maior do que o fluxo de calor latente (LE), praticamente em todos dos dias na área de caatinga, na área de algaroba, R_n foi menor do que LE, nos onze dias iniciais deste período e praticamente igual nos demais dias. Isto indica que houve contribuição adicional de energia nesta última área. Na Figura 4.37 verifica-se que o fluxo médio diário de calor latente foi na maioria dos dias maior na área de algaroba do que na área de caatinga, e conforme indica a Tabela 4.7, a diferença média diária foi de $2,1 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. Isto indica que houve maior transferência de vapor d'água para a atmosfera na área de algaroba. O fluxo de calor latente representou cerca de 104,2% do saldo de radiação na área de algaroba e na caatinga 96,7%. Na Tabela 4.8 são mostrados os resultados da regressão efetuada entre os dados diários do saldo de radiação e do fluxo de calor latente. Pode ser observado que houve uma boa correlação entre estes dois parâmetros nas duas áreas durante o período seco, e que na área de caatinga o coeficiente de determinação também foi bastante elevado 0,99.

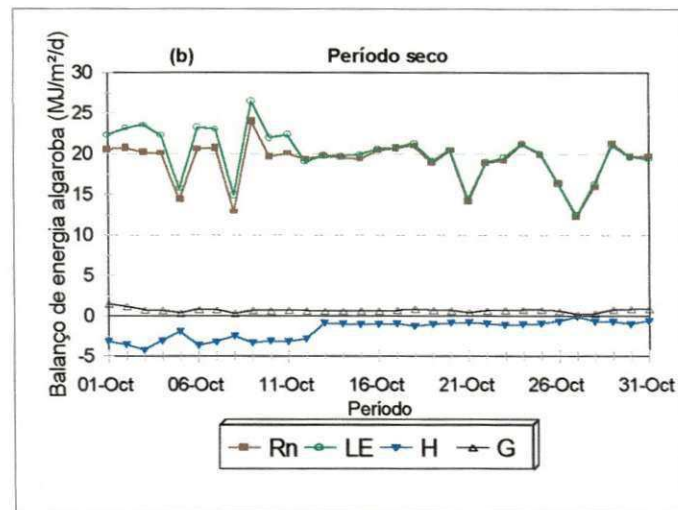
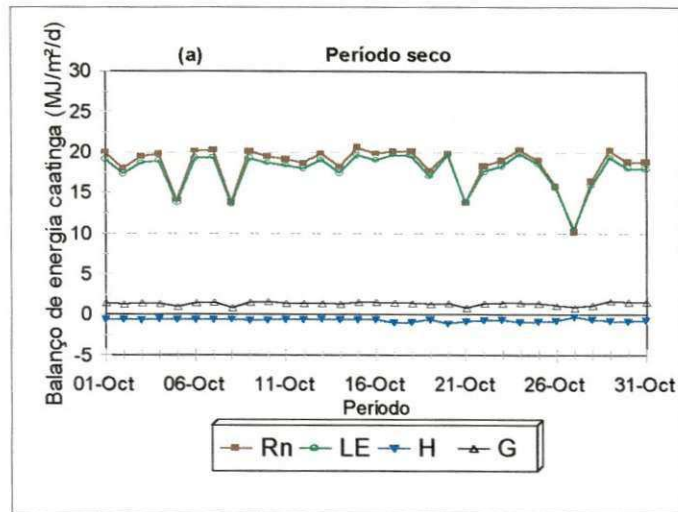


Figura 4.36 - Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia durante o período seco: (a) caatinga; (b) algaroba

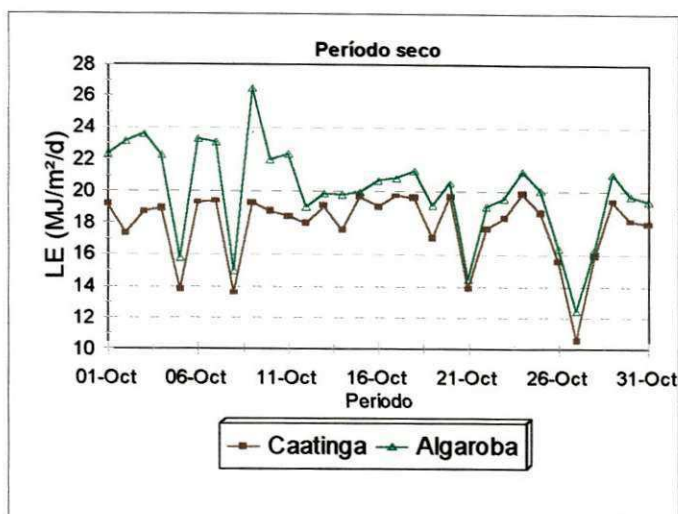


Figura 4.37 - Comportamento médio diário do fluxo de calor latente nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco

TABELA 4.7 - TOTAIS MÉDIOS DIÁRIOS DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA DURANTE OS PERÍODOS SECO E CHUVOSO

FLUXOS (MJ.m ⁻² .d ⁻¹)	PERÍODO SECO		PERÍODO CHUVOSO	
	CAATINGA	ALGAROBA	CAATINGA	ALGAROBA
Rn	18,4	19,1	16,8	17,0
LE	17,8	19,9	14,2	16,0
H	-0,7	-1,5	1,8	0,5
G	1,3	0,7	0,8	0,5

TABELA 4.8 - RESULTADOS DA REGRESSÃO LINEAR DIÁRIA ENTRE O FLUXO DE CALOR LATENTE E O SALDO DE RADIAÇÃO DURANTE O PERÍODO SECO

ÁREA	REGRESSÃO	COEFICIENTES OBTIDOS		
		a	b	R ²
CAATINGA	LE = a + bRn	1,27	0,90	0,99
ALGAROBA	LE = a + bRn	-2,27	1,20	0,90

Já na Figura 4.38, verifica-se que o fluxo médio diário de calor sensível na maioria dos dias, foi maior na área de algaroba, e negativo durante quase todo o período nas duas áreas. Isto indica que houve advecção de calor sensível durante todos os dias em ambas as áreas. Na Figura 4.39, observa-se que a razão média diária entre os fluxos de calor sensível e latente, foi mais negativa na área de algaroba nos onze primeiros dias, enquanto nos demais dias foi praticamente igual nas duas áreas e muito próxima de zero. Isto vem confirmar que os efeitos advectivos na área de algaroba, foram mais atuantes nos onze dias iniciais. Os dados apresentados na Tabela 4.9 confirmam que realmente houve advecção em ambas as áreas e que na área de algaroba, foi em média o dobro daquela que ocorreu na caatinga.

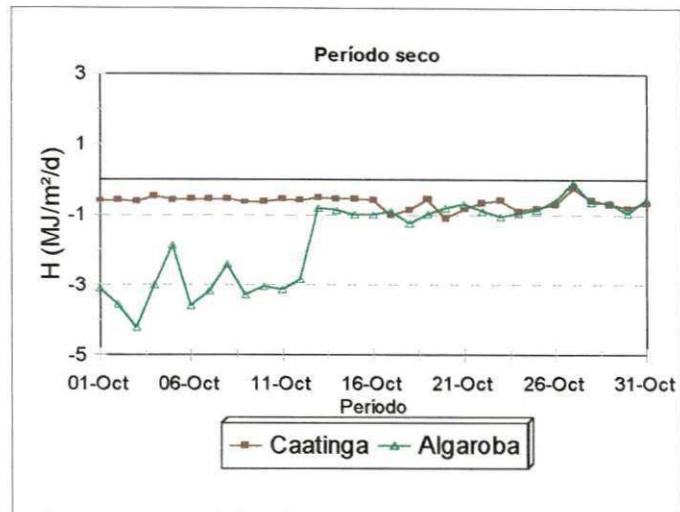


Figura 4.38 - Comportamento médio diário do fluxo de calor sensível nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco

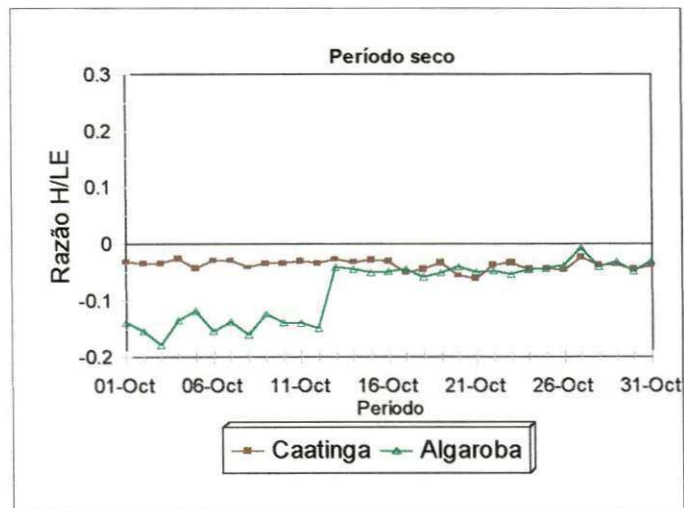


Figura 4.39 - Comportamento médio diário da razão de Bowen nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco

TABELA 4.9 - VALOR MÉDIO DIÁRIO DA RAZÃO DE BOWEN DURANTE OS PERÍODOS SECO E CHUVOSO

Razão De Bowen	PERÍODO SECO		PERÍODO CHUVOSO	
	CAATINGA	ALGAROBA	CAATINGA	ALGAROBA
H/LE	- 0,04	- 0,08	0,1	0,03

O fluxo médio diário de calor no solo (G) mostrado na Figura 4.40, foi maior na área de caatinga do que na área de algaroba. Na Tabela 4.7 verifica-se que o valor de G, foi maior $0,6 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ na área de caatinga.

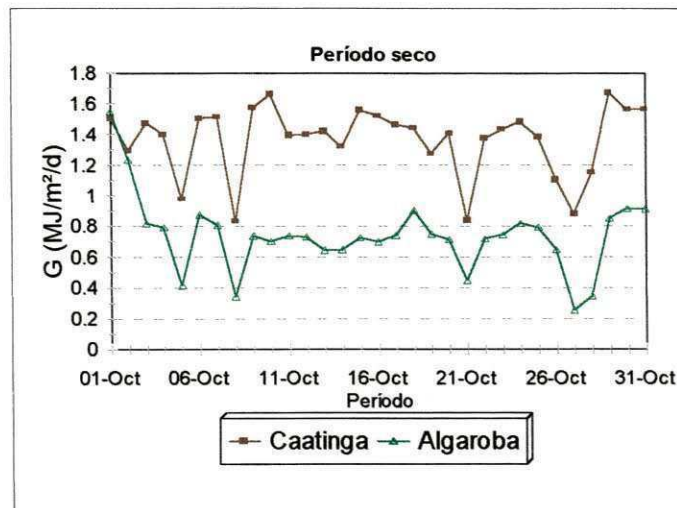


Figura 4.40 - Comportamento médio diário do fluxo de calor no solo nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco

As Figuras 4.41, 4.42 e 4.43 ilustram os comportamentos médios horários dos fluxos de calor latente, sensível e do solo, respectivamente ao longo do dia durante o período seco. Verifica-se que praticamente no decorrer de todo o dia, LE e H foram sempre maiores na área de algaroba, enquanto G foi maior na área de caatinga do que na área de algaroba ao longo do dia, exceto no horário entre 11:30 e 12:30h, pois durante este período a incidência de radiação direta na superfície do solo na área de caatinga é maior, uma vez que esta área perde a maioria das folhas enquanto que a área de algaroba permanece com suas folhas durante o ano todo não permitindo esta incidência de radiação.

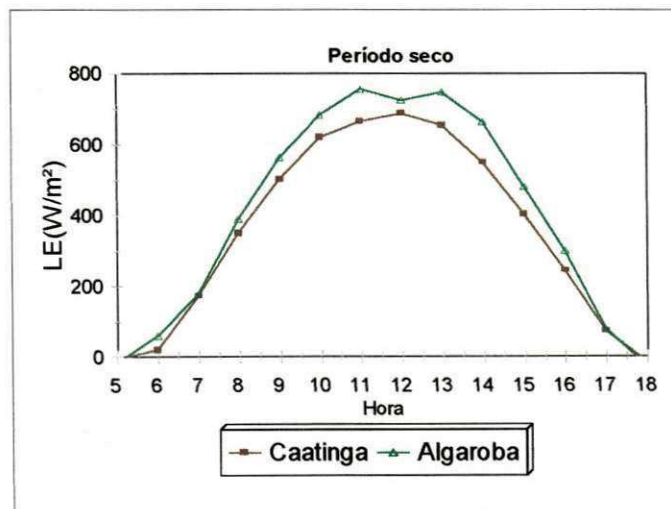


Figura 4.41 - Comportamento médio horário do fluxo de calor latente nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco

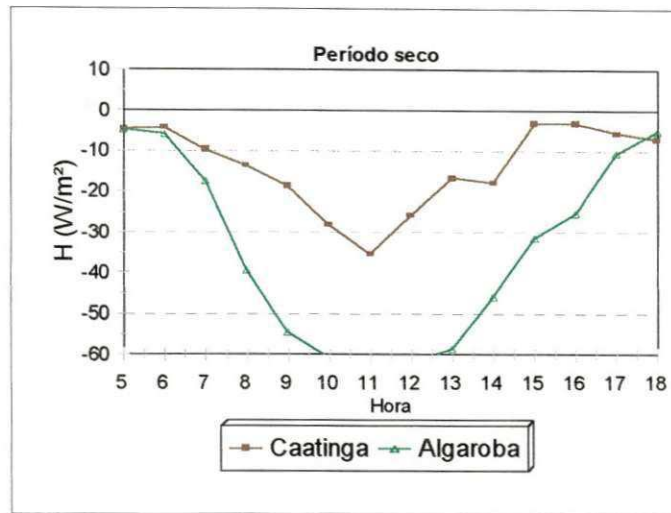


Figura 4.42 - Comportamento médio horário do fluxo de calor sensível nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco

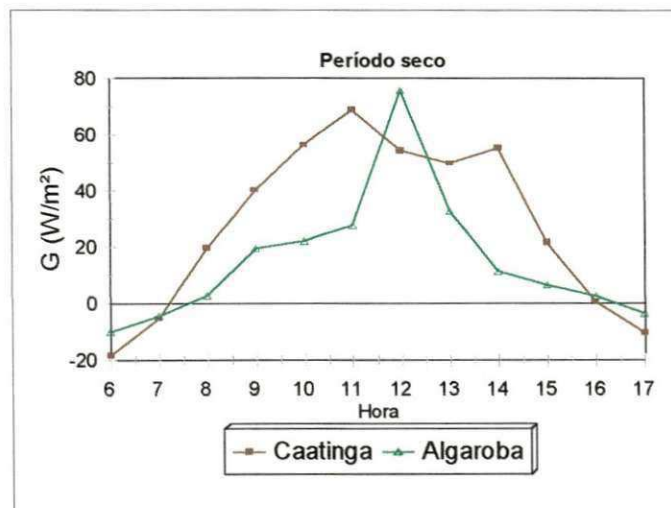


Figura 4.43 - Comportamento médio horário do fluxo de calor no solo nas áreas de caatinga e algaroba durante o período seco

4.2.2 - Período chuvoso (09/03/00 a 08/04/00)

Analisando-se a Figura 4.44, verifica-se que os componentes médios diários do balanço de energia para as áreas de caatinga e algaroba, não foram muito diferentes, embora tenha havido uma diferença mais acentuada entre R_n e LE na área de caatinga, e fluxo de calor sensível, também tenha sido mais acentuado na área de caatinga. Na Figura 4.45, que ilustra o comportamento médio diário do fluxo de calor latente (LE) nas áreas de caatinga e algaroba, verifica-se que este parâmetro foi maior na área de algaroba na maioria dos dias e em média $1,8 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$, cujo valor não é muito diferente daquele do período seco. O fluxo de calor latente representou cerca de 94,2% do saldo de radiação na área de algaroba e na caatinga 84,5%. Na Tabela 4.10, são apresentados os resultados da regressão entre médias diárias do saldo de radiação e fluxo de calor latente, para o período chuvoso. Observa-se uma boa correlação entre estes dois parâmetros, com coeficientes de determinação nas áreas de caatinga e algaroba de respectivamente 0,87 e 0,98.

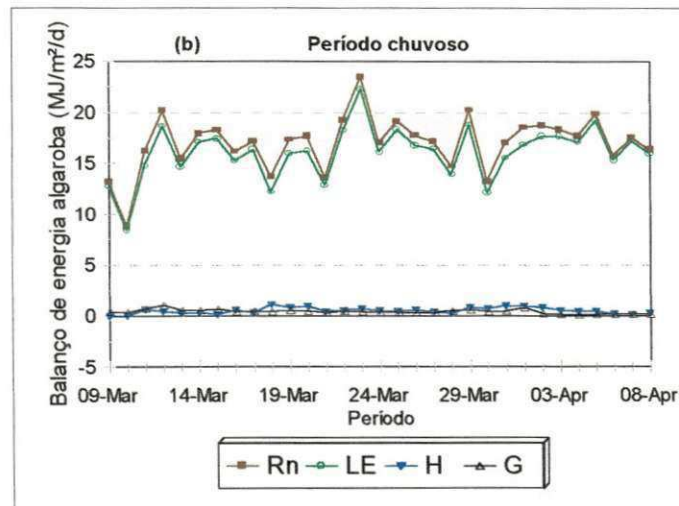
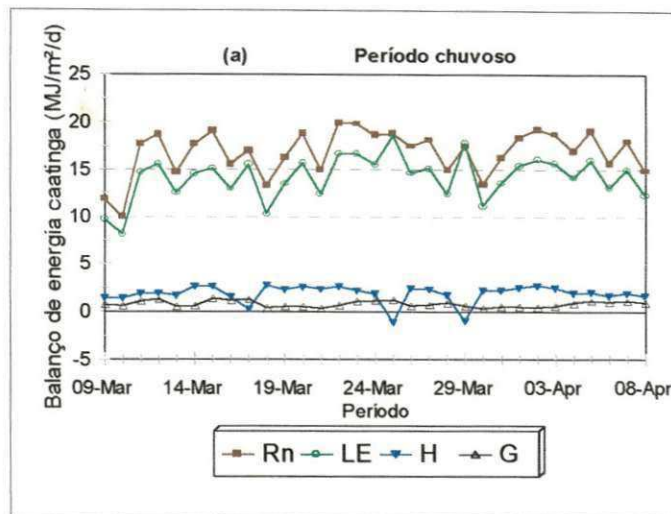


Figura 4.44 - Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia durante o período chuvoso: (a) caatinga; (b) algaroba

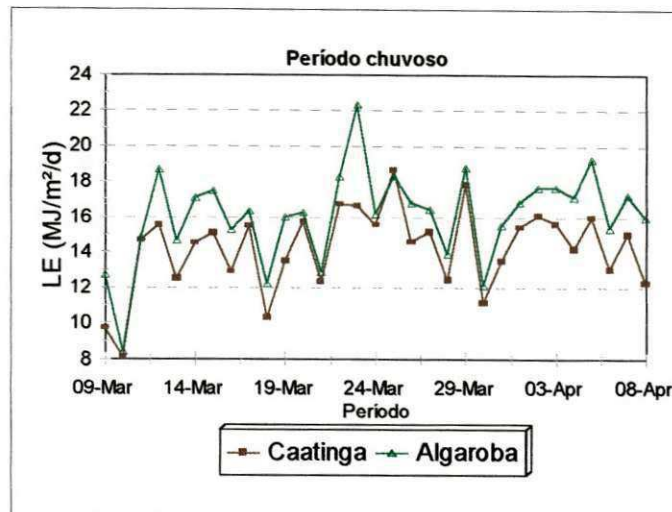


Figura 4.45 - Comportamento médio diário do fluxo de calor latente nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso

TABELA 4.10 - RESULTADOS DA REGRESSÃO LINEAR DIÁRIA ENTRE O FLUXO DE CALOR LATENTE E O SALDO DE RADIAÇÃO DURANTE O PERÍODO CHUVOSO

ÁREA	REGRESSÃO	COEFICIENTES OBTIDOS		
		a	b	R ²
CAATINGA	LE = a + bRn	- 0,96	0,90	0,87
ALGAROBA	LE = a + bRn	- 0,64	0,95	0,98

Uma análise da Figura 4.46, mostra que o fluxo médio diário de calor sensível (H), foi na maioria dos dias durante o período chuvoso, maior na área de caatinga do que na área de algaroba, e que ao contrário do período seco, apenas em dois dias do período chuvoso houve advecção na área de caatinga. Na Figura 4.47 é ilustrada a razão média diária entre H e LE, onde verifica-se que na área de caatinga essa razão foi maior do que na área de algaroba.

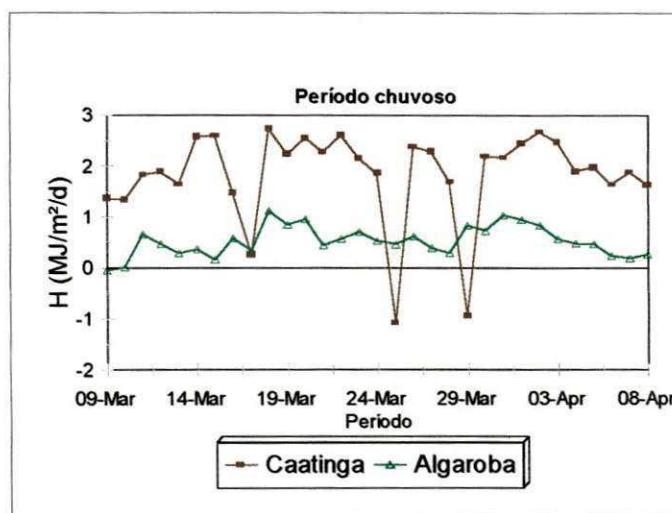


Figura 4.46 - Comportamento médio diário do fluxo de calor sensível nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso

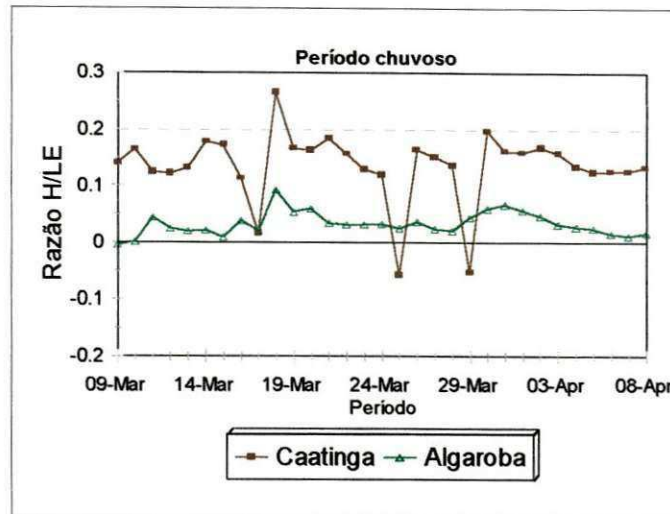


Figura 4.47 - Comportamento médio diário da razão de Bowen nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso

Por outro lado, conforme mostra a Figura 4.48, o fluxo médio diário de calor no solo foi na maioria dos dias durante o período chuvoso, maior na área de caatinga, em média $0,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

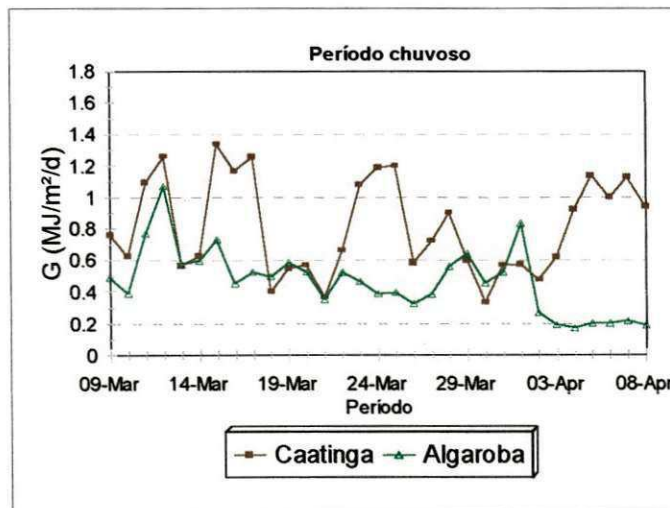


Figura 4.48 - Comportamento médio diário do fluxo de calor no solo nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso

O comportamento médio horário do fluxo do calor latente durante o período chuvoso mostrado na Figura 4.49, indica que LE da mesma forma que no período seco, ao longo do dia foi maior na área de algaroba. Por outro lado, analisando-se o fluxo médio horário de calor sensível ilustrado na Figura 4.50, percebe-se que este parâmetro foi maior na área de caatinga ao longo do dia do que na área de algaroba e completamente diferente daquele observado no período seco, pois, exceto próximo ao nascer e pôr do Sol, este foi sempre positivo ao longo do dia. Já em termos de fluxo médio horário de calor no solo, verifica-se na Figura 4.51 que exceto no horário entre 11 e 12h, este fluxo foi durante todo período diurno maior na área de caatinga.

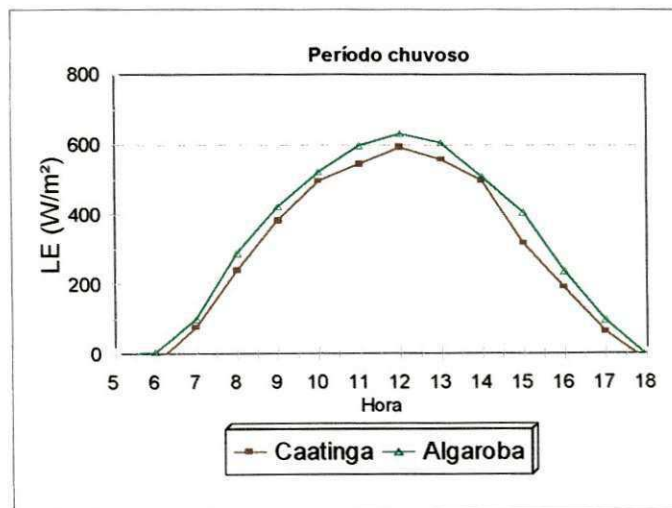


Figura 4.49 - Comportamento médio horário do fluxo de calor latente nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso

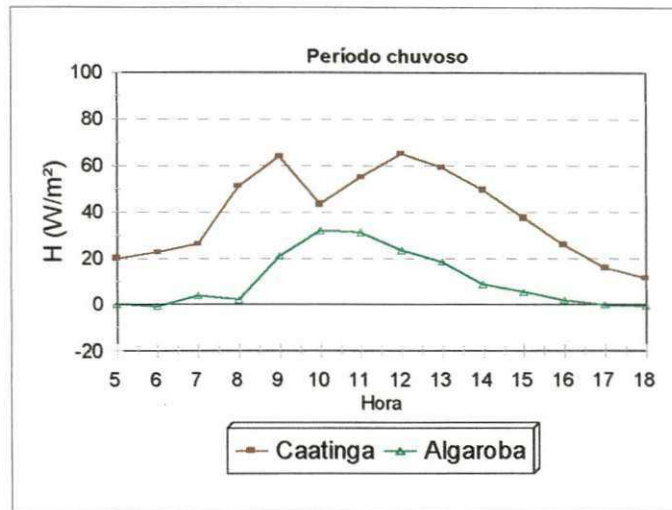


Figura 4.50 - Comportamento médio horário do fluxo de calor sensível nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso

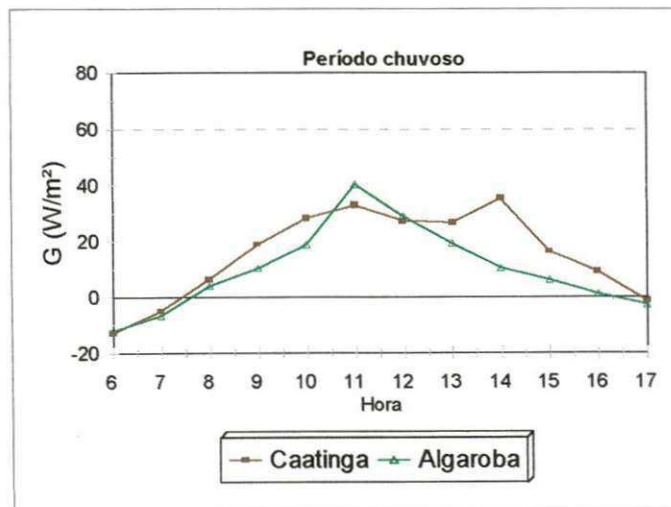


Figura 4.51 - Comportamento médio horário do fluxo de calor no solo nas áreas de caatinga e algaroba durante o período chuvoso

Analisando a Figura 4.52, que mostra a evapotranspiração potencial (ETp) média diária das áreas de caatinga e algaroba, estimada pelo método combinado de Penman (1948), durante os dois períodos estudados, observa-se que a mesma foi maior na área de algaroba do que na área de caatinga, tanto no período seco como no período chuvoso. Durante o período seco os valores médios diários estimados foram, na maioria dos dias, maiores na área de algaroba, porém durante o período chuvoso estes valores se alternaram nas duas áreas, apresentando uma pequena predominância na área de algaroba. Os valores médios de ETp descritos na Tabela 4.11, mostram que na área de algaroba, a evapotranspiração potencial média diária foi durante os períodos seco e chuvoso respectivamente 0,4 e 0,1 mm/dia maior do que na área de caatinga.

TABELA 4.11 - EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL MÉDIA DIÁRIA ESTIMADA PELO MÉTODO DE PENMAN, DURANTE OS PERÍODOS SECO E CHUVOSO

Áreas	PERÍODO SECO		PERÍODO CHUVOSO	
	CAATINGA	ALGAROBA	CAATINGA	ALGAROBA
ETp (mm/d)	6,4	6,8	5,6	5,7

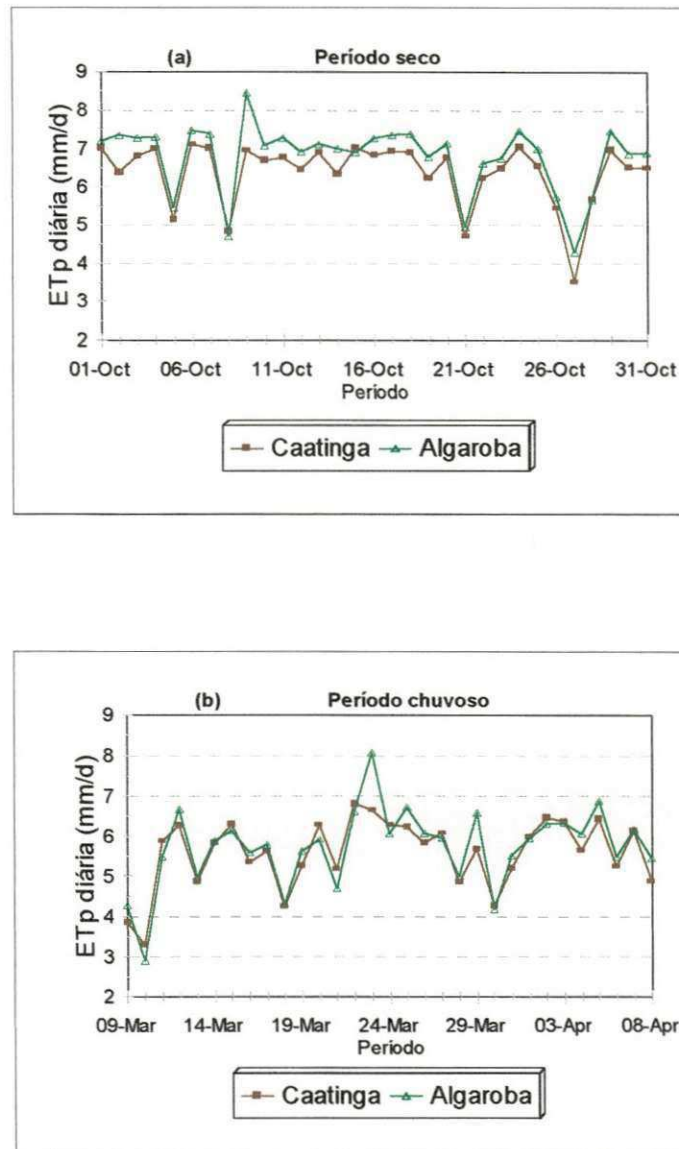


Figura 4.52 - Comportamento médio diário da evapotranspiração potencial estimado pelo método de Penman para as áreas de caatinga e algaroba: (a) período seco; (b) período chuvoso

5 - CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, são apresentadas as seguintes conclusões:

- Todos os componentes do balanço de radiação durante o período seco, foram maiores na área de algaroba do que na área de caatinga;
- Embora durante os períodos seco e chuvoso, os dois dosséis tivessem superfícies muito diferentes, a razão entre o saldo de radiação (R_n) e a radiação solar global ($K\downarrow$), praticamente não apresentou diferença: no período seco nas áreas de caatinga e algaroba R_n representou 76,0 e 77,0% de $K\downarrow$ respectivamente, e durante o período chuvoso 77,1 e 78,3%;
- O saldo de radiação de ondas curtas foi maior na área de algaroba durante os dois períodos estudados, ou seja, houve maior absorção de radiação solar pela área de caatinga;

- A maior umidade do solo na área de algaroba durante o período chuvoso, contribuiu para a diminuição do albedo;
- As radiações de ondas longas proveniente da atmosfera e emitida pela superfície na área de algaroba, foram maiores durante o período seco e menores durante o período chuvoso. Já a razão entre $L\downarrow$ e $L\uparrow$ na área de algaroba, foi menor do que na área de caatinga no período seco e maior no período chuvoso;
- O fluxo de calor latente no período seco, representou 96,7 e 104,2% do saldo de radiação nas áreas de caatinga e algaroba, respectivamente, e no período chuvoso 84,5 e 94,2%. Portanto, como 7,1% de R_n foi usado para aquecer o solo, houve contribuição de energia por advecção de calor sensível durante o período seco, tanto na área de caatinga como na de algaroba;
- O fluxo de calor no solo foi maior na área de caatinga do que na área de algaroba, tanto no período seco como no chuvoso, ou seja, houve mais energia acumulada na área de caatinga;
- Finalmente, considerando que as regressões entre o saldo de radiação e a radiação solar global, e entre o saldo de radiação e o fluxo de calor latente, para os dois períodos estudados, apresentaram ótimos coeficientes de determinação (R^2), R_n e LE podem ser estimados pelas equações obtidas para as duas áreas com razoável precisão.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRACOS, R. P.. Amazônia: florestas, pastagens e o clima. **Institute of Hydrology**, ISBN 0 948540 61 3, 1994.
- ANDRÉ, R. G. B.. Distribuição de energia numa cultura de soja (*Glycine Max (L.) Merrill*) irrigada e não-irrigada. **Dissertação de Mestrado em Fitotecnia**, Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 121p, 1973.
- ANDRÉ, R. G. B.. Obtenção da razão de Bowen para estimativa da evaporação potencial em condições micrometeorológicas. (**Doutoramento E. E. S. C. USP**). São Carlos, SP, 66p, 1986.
- ANGUS, D. E., WATTS, P. J.. Evapotranspiration - How good is the Bowen ratio method? **Agricultural Water Management**. Amsterdam. Vol 8, p. 133 - 150, 1984.
- ANGSTRÖM, A.. A Study of The Radiation of The Atmosphere. **Smithsonian Misc. Coll.** 65 (3), p. 159, 1915.

- ANGSTRÖM, A.. Effective Radiation during the Second International Polar Year. **Medd. Statens. Meteorol. Hydrogr. Amst.**, Stockholm. 6 (8), 1936.
- AZEVEDO, P. V., LEITÃO, M. M. V. B. R., COSTA, J. P. R.. Adaptação da equação de Brunt, modificada por Penman, às condições Semi-Áridas do Nordeste do Brasil. **V Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Anais 1: 1 - 5. Sociedade Brasileira de Meteorologia. Rio de Janeiro - RJ, 1988.
- AZEVEDO, P. V., LEITÃO, M. M. V. B. R., COSTA, J. P. R.. Balanço de energia numa cultura de soja irrigada, nas condições semi-áridas do Nordeste. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 6 Maceió - AL. **Anais**. 01: 427 - 435, 1989.
- AZEVEDO, P. V., LEITÃO, M. M. V. B. R., SOUZA, I. F.. Balanço de radiação sobre culturas, nas condições semi-áridas do cariri paraibano. VI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Salvador - BA. **Anais**. 01: 33 - 38, 1990.
- BARBOSA, H. P.. Estimativa da proteína digestível no intestino (PDI) das vagens e folhas de algarabeira (*prosopis juliflora* (SW) DC). **Agropecuária Técnica**, Areia, PB, v. 6, n.º 6, p. 39 - 44, jan./jun. 1985.
- BERGAMASCHI, H., OMETTO, J. C., VIEIRA, ANGELOCCI, L. R., LIBARDI, P. L.. Deficiência hídrica em feijoeiro. **PequisaAgropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 7, p. 45 - 75, jul. 1988.

- BERLATO, M. A. & MOLION, L. C. B. Evaporação e Evapotranspiração. IPAGRO. **Boletim Técnico**, n.º 7, 95p, 1981.
- BLAD, B. L. & BAKER, D. G.. Reflected radiation from soybean crop. **Agronomy Journal**, 64: 277 - 280, 1972.
- BLAINE, L. B.; ROSENBERG, N. J.. Evapotranspiration by subirrigated alfalfa and pasture in the East Central Great Plains. **Agronomy Journal**, 66: 248 – 252, 1974.
- BOWEN, I. S.. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Physical Review**. New York, v.27, p.779 - 787, 1926
- BRAKKE, T. W., VERMA, S. B., ROSENBERG, N. J.. Local and regional components of sensible heat advection. **Journal of Applied Meteorology**, American Meteorological Society, p. 955 – 964, 1978.
- BRUN, L. J., ENZ, J. W. and LARSEN, J. K.. Evaluation of energy balance and water use by spring wheat during a normal and a dry season. **Agricultural and Forest Meteorology**, 35: 103-111, 1985.
- BRUNT, E. T.. Notes on Radiation in the Atmosphere. **Quart. Jour. Roy. Meteorol. Soc.**, 58: 389 - 418, 1932.
- BRUTSAERT, W.. On a Derivable Formula For Long-Wave Radiation From Clear Skies. **Water Resources Research**. 11: 742 - 744, 1975d.

- BUDIKO, M. I.. The heat balance of the earth's surface. **Translation by Nina A. Stepanova U. A. Atomic Energy Comission Report**, p229 - 231, 1958.
- CHIA, L. S.. Albedo of Natural Surfaces in Barbados. **Quart. Jour. Roy. Meteorol. Soc.**, 93: 116 - 120, 1967.
- CHOTHIER, B. E., CLAWSON, K. L., PINTER, P. J. andaime., MORAN, M. S., REGINATO, R. J., JACKSON, R. D.. Estimatiom of soil heat flux net radiation during the growth of alfafa. **Agricultural Meteorology**. V. 37, p. 109-115, 1967.
- CULF, A. D., FISCH, G., HODNETT, M. G.. The albedo of Amazonian forest and ranchland. **Journal of Climate**, 8 (6): 1544 - 1554, Mai., 1995.
- CUNHA, R. da C.. Estudo Micrometeorológico da Transferência Vertical de Vapor D'água e Energia. **Dissertação de Mestrado em Fitotecnia**, Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 121p, 1988.
- CUNHA, R. da C. & BERGAMASCHI, H.. Balanço de energia em alfafa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 9 - 16, 1994.
- CUNHA, R. da C., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M. A., MATZENAUER, R.. Balanço de energia em cultura de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n.º 1, p. 1 - 14, 1996.

- DAVIES, J. A. and BUTTIMOR, P. H.. Reflection Coefficients, Heating Coefficients and Net Radiation at Simcoe Southern Ontario. **Agricultural Meteorology**. 6: 373 - 386, 1969.
- DENMEAD, O. T.; McLLROY, I. C.. Measurements of non-potential evaporation from wheat. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 7, n.º 4, p. 285-302, 1970
- ELSASSER, W. M.. Heat transfer by infrared radiation in the atmosphere. **Harvard Meteorol. Studies**, n.º 6, 107p, 1942.
- FEITOSA, J. R. P.. Balanço de energia e evapotranspiração em área de pastagem e de floresta densa na Amazônia (**Dissertação de Mestrado em Meteorologia**). UFPB, Campina Grande – PB, 95p., junho de 1996.
- FERGUSON, J.. The Rate of Evaporation from Shallow Ponds. **Australian J. Sci. Res.**, 5: 315 - 330, 1952.
- FONTANA, D. C.. Balanço de Radiação e Balanço de Energia em Soja (*Glycine Max (L.) Merrill*) irrigada e não-irrigada. **Dissertação de Mestrado em Fitotecna**, Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 123p, 1987.
- FRITSCHEN, L. J.. Accuracy of evapotranspiration determinations by the Bowen ratio method. **Journal of Applied Meteorology**, 3: 38 - 48, 1965a.

- FRITSCHEN, L. J.. Miniature net radiometer improvements. **J. Appl. Meteorol.**, 4: 528 - 532, 1965b.
- FUCHS, M. and TANNER, C. B.. Error Analysis of Bowen Ratios Measured by Differential Psychrometry. **Agricultural Meteorology**, 7: 329 - 334, 1970.
- GERBER, J. F. & DECKER, W. L.. Estimation of Bowen ratio by heat budget measurements of a corn field. **J. Geophys. Res.**, 65 (11): 3699 - 3702, 1960.
- GRAHAM, W. G. and KING, K. M.. Short-Wave Reflection Coefficient for a Field of Maize. **Quart. Jour. Roy. Meteorol. Soc.**, 84: 425 - 428, 1961.
- HARVREAVES, G. H.. Estimation of potencial and crop evapotranspiration. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 17, n.º 4, p. 701 - 704, 1974.
- HARVREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A.. Esimating potencial evapotranspiration. **Journal of the Irrigation and Drainage Division of the ASCE**, New York, v. 108, n.º IR3, p. 223 - 230, 1982.
- HUECK, K.. **As florestas da América do Sul: ecologia, composição e importância econômica**. São Paulo: Polígono/ Ed. Universidade de Brasília, 458 p. il., 1972.
- IDSO, S. B.. On the Use of Equations to Estimate Atmospheric Thermal Radiation. **Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B**, 22, 287-299, 1973.

- IDSO, S. B., JACKSON, R. D., REGINATO, B. A., KIMBALL, B. A., NAKAYAMA, F. S.. The dependence of bare soil albedo on water content. **J. Appl. Meteorol.** V. 14, p. 109-113, 1975.
- IDSO, S. B. & JACKSON, R. D.. Thermal Radiation from the Atmosphere. **Jour. Geophysical Res.**, 74: 5397 - 5403, 1969.
- KUMAR, K. K., MAHESWARA RAO, V. U.. Net radiation distribution in India. **Mausam**, 36(2): 229 - 232, 1985.
- LEITÃO, M. M. V. B. R.. Balanço de Radiação e Energia numa Cultura de Soja Irrigada. **(Dissertação de Mestrado em Meteorologia)**. UFPB, Campina Grande, Paraíba, 110p, 1989.
- LEITÃO, M. M. V. B. R.. Balanço de Radiação em Três Ecossistemas da Floresta Amazônica: Campina, Campinarana e Mata Densa **(Tese de Doutorado em Meteorologia)**. INPE, São José dos Campos – SP, 135p, outubro de 1994.
- LEITÃO, M. M. V. B. R. e AZEVEDO, P. V., Balanço de Radiação e Energia numa cultura de soja irrigada, nas condições semi-áridas do Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6, Salvador, BA. **Anais** 01: 27-32, 1990.
- LEITÃO, M. M. V. B. R. e OLIVEIRA, G. M.. Influência da Irrigação sobre o albedo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, DEAg/UFPB, v.4, n.º 2, p. 214 - 218, 2000.

- LIMA, J. L. S. de, Plantas forrageira das caatingas - usos e potencialidades. **Associação de Plantas do Nordeste**. Petrolina – PE: EMBRAPA – CPATSA/ PNE/RGB – KEW, 1996.
- LIMA, P. C. F., Algaroba uma das alternativas do Nordeste. **Brasil Floresta**, nº 28, abril, maio e junho de 1984.
- LINACRE, E. T.. Estimating the net-radiation flux. **Agricultural and Forest Meteorology**, 5: 49 - 63, 1968.
- LLASAT, M. C., SNYDER, R. L.. Data Error Effectos on Net Radiation and Evapotranspiration Estimation. **Agricultural and Forest Meteorology**, 91: 209-221, 1998.
- LOMAS, J., SCHLESINGER, E., LEWIN, J.. Effects of Environmental and Crops Factors on the Evapotraspiration Rate and Water Use Efficiency of Maize. **Agricultural Meteorology**, 13: 239 - 251, 1974.
- MATZENAUER, R.. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura. In: Bergamaschi, H. (Coord.) **Agrometeorologia Aplicada à Irrigação**. Porto Alegre: Ed. Da Universidade/UFRGS. Cap. 3, p. 31-39. 1992.
- MONTEITH, J. L.. Evaporation and environment. The state and moviment of water in living organisms. **Soc. Exp. Biol.** New York, p205 - 234, 1965.

MONTEITH, J. L. & SZEICZ, G.. The Radiation Balance of Bare Soil and Vegetation. **Quart. Jour. Roy. Meteorol. Soc.**, 87: 159 - 170, 1961.

MONTENY, B.. Evapotranspiration de diferents couverts vegetaux in region mediterraneene semi-aride. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 10 (¹/₂): 19-38, 1972.

MUGGE, R. & MOLLER, F.. Zur Berechnung von Strahlungs - Stromen und Temperaturande kungen in Atmospharen von Beliebigen Alfbau. **J. Geophys.**, 8: 53 - 64, 1932.

NKEMDIRIM, L. C.. Radiation Flux Relations over Crops. **Agricultural Meteorology**. 11: 229 - 242, 1973.

PAW U, K. T.. A discussion of the Penman form equations and comparisons of equations to estimate latent energy flux density. **Agricultural and Forest Meteorology**. 57 : 297 - 304, 1992.

PEDRO JUNIOR, M. J.. Balanço de Energia em Soja (Glycine Max L. Merrill). **Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas**. Piracicaba, ESALO, 82p, 1977.

PENMAN, H. L., Natural Evaporation from Open Water Base Soil and Grass. **Proceedings Royal Society**, A 193; 120 - 45, 1948.

- PIERI, P. and FUCHS, M.. Comparison of Bowen ratio and aerodynamic estimates of evapotranspiration. **Agricultural and Forest Meteorology**. 49: 243 - 256, 1990.
- PRIESTLEY, C. H. B. and TAYLOR, R. J.. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large - scale parameters. **Monthly Weather Review**, 106: 81 - 92, 1972.
- PROCTOR, J. T. A., KYLE, J. W., DAVIES, J. A.. The Radiation Balance of the Apple Tree. **Canadian J. Bot.**, 50: 1731 - 1740, 1972.
- REIS, M. R., Conservação dos Ecossistemas do Nordeste Brasileiro. **Anais do Simpósio sobre a Caatinga e sua Exploração Racional**, 11-25, São Paulo, novembro de 1984.
- REVHEIM, K. J. A. and JORDAM, R. B.. Precision of Evaporation Measurements using the Bowen Ration. **Boundary - Layer Meteorol.**, 10: 97 - 111, 1976.
- RIBEIRO, J. B. M., Análise Comparativa das características microclimáticas entre áreas de floresta e de pastagem na Amazônia. (**Dissertação de Mestrado em Meteorologia**). Viçosa-MG, julho de 1994.
- RIJCKS, D.A., Water use by irrigated cotton in Sudan II: Net radiation and soil heat flux. **J. Appl. Ecology**. 5: 685 - 706, 1968.
- ROBINSON, G. D.. Notes on the measurement and estimation of atmospheric radiation. **Quart. Jour. Roy. Meteorol. Soc.**, 76: 37 - 51, 1950.

- ROSENBERG, N. J.. Frequency of Evapotranspiration Rates in Central Great Plains. **J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Engrs.** V. 98, n. 2, p. 203-206, 1972.
- SATTERLUND, D. K.. An Improved Equation for Estimating Long-Wave Radiation from the Atmosphere. **Water Resour. Res.**, 15: 1949 - 1660, 1979.
- SELLERS, W. D.. Physical Climatology. **The University of Chicago Press**, 272p, 1965.
- SENTELHAS, P. C.; CAMARGO, A. P.. Equação para a estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, baseada no método de Hargreaves – 1974. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Santa Maria, v. 4, n.º 1, p. 77 – 81, 1996.
- SHAW, R. H. & DECKER, W. L.. The general heat budget of canopies, 141 - 155. In: B. J. Barfield and J. F. Gerber (eds.). Modification of the Areal Enviroment of Crops. **Americam Society of Agricultural Engineers**, St. Josep, Michigan, 1979.
- SHUTTLEWORTH, W. J., GASH, J. H. C., ROBERTS, J. M., NOBRE, C. A., MOLION, L. C. B., RIBEIRO, M. N. G.. Post - Deforestation Amazonian climate: Anglo - Brazilian Research to improve predctions. **Journal of Hydrology**, 129 (1 - 4): 71 - 85, Dec., 1991.
- SINCLAIR, T. R., ALLEN, L. H., LEMON, E. R.. Analysis of Erros in the Calculation of Energy Flux Densities above Vegetation by a Bowen - Ratio Profile Method. **Boundary - Layer Meteorol.**, 8: 129 - 139, 1975.

- SIQUEIRA, A. A.. Avaliação do Microclima em Área de Caatinga e Área Reflorestada com Algaroba (**Dissertação de Mestrado em Meteorologia**). UFPB, Campina Grande, Paraíba, 87p, agosto de 1997.
- SIQUEIRA, A. A. e LEITÃO, M. de M. V. B. R.. Determinação do albedo em áreas de caatinga e reflorestada com algaroba no semi-árido do Nordeste brasileiro. In: XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – II Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, Florianópolis, Santa Catarina, **Anais**, CD Rom, 1999.
- SLATYER, R. O. AND McILROY, J. C.. **Practical Micro Climatology**. **CSIRO Melbourne**, 1961.
- SPITTERHOUSE, D. A. and BLACK, T. A.. Evaluation of the Bowen Ratio/ Energy Balance Method for Determining Forest Evapotranspiration. **Atmos. Oceans**, 18: 98 - 116, 1980.
- SUBRAHMANYAM, V. P. & RATNAM, B. P.. Albedo Studies in a Sugar Cane Field. India. **J. Agric. Sci.**, 39: 774 - 779, 1969.
- SUOMI, V. E. & TANNER, C. B.. Evapotranspiration estimates from heat budget measurements over a field crop. **Trans. Amer. Geophys. Union**, 39: 298 - 304, 1958.
- SUTTON, O. G.. **Micrometeorology**. **McGraw-Hill Book Co.** New York, 333p, 1953

- SWINBANK, W. C.. Long-Wave Radiation from Clear Skies. **Quart. Jour. Roy. Meteorol. Soc.**, 09: 339 - 348, 1963.
- TAN, C. S. and RAJARATNAM, A.. Preliminary Results of Reflection Coefficients of Some Typical Terrains of Short-Wave Radiation. **Malays. Agric. Res.**, 4: 221 - 225, 1975.
- TANNER, C. B.. Energy Balance Approach to Evapotranspiration From Crops. **Soil Science Society of America. Proceedings**, Madison, 24(4): 1 - 9, 1960.
- TANNER, C. B. & PELTON, W. L.. Potencial Evapotranspiration estimates by the approximate energy balance method of Penman. **J. Geophys. Res.**, 65: 3391 - 3413, 1960.
- THORNTHWAITE, C. W.. An approach toward a rational classification of climate. **Geophysical Review**. 38: 55 - 94, 1948.
- TRAMBOUZEN, W., BERTUZZI, P., VOLTZ, M.. Comparison of Methods for Estimating Actual Evapotranspiration in a row-cropped Vineyard. **Agricultural and Forest Meteorology**, 91: 193-208, 1998.
- VERMA, S. B. e ROSENBERG, N. J.. Modified Bowen ratio-energy balance method for use where advection of sensible heat is considerable: Tests in alfafa and soybean fields. **Submitted to Irrig. Sci.** 1978.

- VILLA NOVA, N. A. Estudo Sobre o Balanço de Energia em Culturas de Arroz. (Tese de Livre Docência). ESALQ-USP. Piracicaba, 89p, 1973.
- VISWANADHAM, Y.. Studies on radiation balance at a tropical station. **Pure and Applied Geophysics**. 97: 183 - 213, 1972
- VISWANADHAM, Y., ANDRÉ, R. G. B., SÁ, L. D. A., MANZI, A. O., FILHO, V. P. S.. Componentes do Balanço de Radiação acima da Copa da Floresta Amazônica. **Volume of the Second Interamerican Meteorological Congress and Congremet V with cam**, nov. 30 – Dec. 4, Buenos Aires, Argentina, 1987.
- WILLMOTT, C. J., ACKLESON, S. G., DAVIS, R. E.. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n.º C5, p. 8995 – 9005, 1985.
- WRIGHT, I. R., GASH, J. H. C., ROCHA, H. R., SHUTTLEWORTH, W. J., NOBRE, C. A., MAITELLI, G. T., ZAMPORONI, C. A. G. P., CARVALHO, P. R. A.. Dry season micrometeorology. **Journal of Royal Meteorological Society**. 118 (508): 1083 - 1100, oct., 1992.
- WRIGHT, I. R., MANZI, A. O., ROCHA, H. R.. Surface conductance of Amazonian pasture: model application and calibration for canopy climate. **Agricultural and Forest Meteorology**. 75: 51 - 70, 1995.

WRIGHT, J. L.. New evapotranspiration crop coefficients. **Journal of the irrigation and drainage division**, v. 108, n. IR2, p. 57-74, 1982.

YAMAMATO, G. & ONISHI, G.. A chart for the calculation of radiative temperature changes. **Sci. Rept. Ser. 5 (Geophys.):** 108 - 115, 1953.