



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Dissertação de Mestrado

**BALANÇO DE ENERGIA EM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO
DOS TABULEIROS COSTEIROS DO ESTADO DA PARAÍBA**

FABRICIO DA SILVA OLIVEIRA

**Campina Grande
Paraíba**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



**BALANÇO DE ENERGIA EM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DOS
TABULEIROS COSTEIROS DO ESTADO DA PARAÍBA**

FABRICIO DA SILVA OLIVEIRA

**CAMPINA GRANDE
Estado da Paraíba – Brasil
Agosto – 2012**

FABRICIO DA SILVA OLIVEIRA
Licenciatura Plena em Ciências Agrárias

**BALANÇO DE ENERGIA EM CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DOS
TABULEIROS COSTEIROS DO ESTADO DA PARAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande - PB, em cumprimento às exigências para do Grau de Mestre em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. José Dantas Neto

Co-Orientador: Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo

CAMPINA GRANDE
Estado da Paraíba – Brasil
Agosto – 2012



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

O482b Oliveira, Fabricio da Silva.

Balanco de energia em cana-de-açúcar na região dos tabuleiros costureiros do estado da Paraíba / Fabricio da Silva Oliveira. - Campina Grande, 2012.

45f.: il.; color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientadores: Prof. Dr. José Dantas Neto, Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo.

Referências.

1. Engenharia Agrícola. 2. Fluxos de Energia. 3. Razão de Bowen. 4. Partição de Energia. I. Título.

CDU 631(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA




PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO

FABRÍCIO DA SILVA OLIVEIRA

**BALANÇO DE ENERGIA EM CANA-DE-AÇÚCAR
NA REGIÃO DOS TABULEIROS COSTEIROS DO ESTADO DA PARAÍBA**

BANCA EXAMINADORA

PARECER



Dr. José Dantas Neto
Orientador (UAEA/CTRN/UFPG)

APROVADO



Dr. Pedro Vieira de Azevedo
Orientador (UACA/CTRN/UFPG)

APROVADO



Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo
Examinadora (UAEA/CTRN/UFPG)

APROVADO



Dr. José Renato Cortez Bezerra
Examinador (EMBRAPA/ALGODÃO)

APROVADO

AGOSTO - 2012

DEDICATÓRIA

Aos meus pais:

Rusiel de Freitas Oliveira e Maria Alda da Silva Oliveira, inesgotável fonte de incentivo, apoio constante em todas as minhas decisões, mesmo quando não pareciam demasiadamente compreensíveis aos vossos olhos. Se hoje tenho alcançado meus objetivos devo tudo à educação que vocês me deram, evidenciando que a humildade está acima de todas as virtudes e a verdadeira grandeza não consiste em receber honras, mas em merecê-las.

“O verdadeiro mestre não é somente aquele que ensina, mas o que inspira.”

Aos meus irmãos:

Francisco Caturite da Silva Oliveira, Fransualdo da Silva Oliveira e Elane Cristina de Freitas Oliveira, pela amizade, carinho e solidariedade, apoio e colaboração.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Agradeço em primeiro lugar a **Deus**, por me dar forças para vencer mais esta batalha e por me fazer perceber que quanto mais acredito nele, mais Ele acredita em mim.

Agradeço especialmente aos **Profs. Dr. JOSÉ DANTAS NETO e PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO**, pela orientação nas decisões tomadas para realização deste trabalho. A estas pessoas admiráveis, que sabe conduzir diferentes caminhos com segurança, seriedade, paciência e respeito. As lições aprendidas por mim com certeza vão muito além desta Dissertação: são lições de profissionalismo e dignidade. Levarei comigo todos os seus ensinamentos e principalmente seus exemplos de vida. Muito obrigado, que Deus os abençoe sempre.

Ao **Dr. JOSÉ RENATO CORTEZ BEZERRA**, pela colaboração em todos os momentos difíceis que necessitei de seu auxílio. Pelo seu profundo conhecimento, competência, paciência, respeito, atenção e principalmente pela presença constante durante esses últimos anos. Agradeço à nossa grande amizade...

Ao **Dr. CARLOS HENRIQUE DE AZEVEDO FARIAS**, Pesquisador da Destilaria Miriri S/A, pela área cedida para condução da pesquisa, e por todo apoio concedido no decorrer da pesquisa.

**“Sozinhos podemos chegar mais rápido”.
Mas acompanhados podemos ir muito mais longe...”**

AGRADECIMENTOS

Aos colegas de curso: DANILA, NAVILTA, DANTE, EDUARDO, ANDERSON, FRANCISCO, JESIVALDO, JANIO, LUCIANO. Pela grande vínculo de afeto, amizade, companheirismo e sinceridade.

Agradeço a meus pais por me incentivarem durante toda a minha vida para que eu tivesse uma educação digna e de qualidade dando-me assim a oportunidade de estar hoje aqui frente a vocês para me torna mais um dos que lutam por uma educação limpa de qualidade.

A todos aqueles que, em qualquer momento, colocaram-se disponíveis para que hoje, juntos e felizes, pudéssemos participar desta conquista, a minha gratidão. A minha amizade àqueles que me quiseram bem e me apoiaram, nos bons e nos maus momentos. O meu perdão àqueles que, por motivos alheios à minha vontade, não me compreenderam. As minhas desculpas se houve momentos em que não foi possível mudar. Meus sinceros agradecimentos àqueles que confiaram na honestidade deste trabalho.

“Talvez não tenhamos conseguido fazer o melhor, mas lutamos para que o melhor fosse feito”.
(Madre Teresa de Calcutá)

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos, sem a qual seria impossível a realização deste Curso.

Aos meus companheiros de convivência, ANDRE AIRES, HENRIQUE DOUGLAS, ANA DARK, ANDREZA FARIAS e TIBERIO, pela agradável companhia e apoio prestados.

Aos professores das disciplinas cursadas ao longo dos períodos por contribuir para o enriquecimento profissional e pessoal.

Para não pecar por omissão, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para realização e conclusão deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

**"Ser humilde com os superiores é uma obrigação, com os colegas uma cortesia,
com os inferiores é uma nobreza."**
(Benjamin Franklin)

SUMÁRIO

	PG
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	IX
RESUMO	X
ABSTRACT	XI
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Cana-de-açúcar	3
2.2. Balanço de Energia	4
2.2.1. Radiação solar	4
2.2.1.1. Equações do balanço de radiação	6
2.2.2. Estoque de energia próximo da superfície	7
2.2.2.1. Equações do balanço de energia	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1. Cultura Estudada	12
3.2. Área Experimental	12
3.3. Clima e Solo da Região	13
3.4. Observações Micrometeorológicas	15
3.4.1. Instrumentação	15
3.4.2. Sistema de aquisição de dados	18
3.5. Aquisição dos Dados Teóricos	19
3.5.1. Balanço de energia com base no método da razão de Bowen	19
3.5.2. Fluxo de calor latente	20
3.5.3. Fluxo de calor sensível	22
3.5.4. Fluxo de calor no solo	22
3.6. Análise dos Dados	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1. Balanço de Energia sobre Cultura	24
4.1.1. Evolução do Balanço de Energia em Base Horária	24
4.1.2. Totais diurnos dos Termos do Balanço de Energia	30
4.1.3. Partição do saldo de radiação entre os componentes do balanço de energia	35
CONCLUSÕES	38
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

LISTA DE FIGURAS

	PG
Figura 3.1. Mapa de localização dos municípios de Capim/PB	12
Figura 3.1.1. Vista aérea da Usina Miriri em Capim, PB	13
Figura 3.2. Precipitação ocorrida durante o experimento, para os meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro de 2011	14
Figura 3.3. Torre micrometeorológica instalada no centro do canavial na Fazenda Capim II, em Capim, PB	15
Figura 3.4. Saldo radiômetro (A); Piranômetros (B), sobre o dossel de cana-de-açúcar	16
Figura 3.5. Psicrômetro aspirado de cobre-constantan (A), Bateria Zetta 45 Ah instalada no sistema (B)	17
Figura 3.6. Placa de fluxo de calor HFT3	18
Figura 3.7. Datalogger CR 1000 Campbell Scientific, Inc., USA e bateria para armazenamento de energia (A); painel fotovoltaico (B)	18
Figura 3.8. Tela do programa PC200W, utilizado para a coleta remota dos dados do sistema	19
Figura 4.1. Variação média horária dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar: saldo de radiação (R_n), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o mês de junho de 2011	25
Figura 4.2. Variação média horária dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar: saldo de radiação (R_n), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o mês de julho de 2011	25
Figura 4.3. Variação média horária dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar: saldo de radiação (R_n), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o mês de agosto de 2011	26
Figura 4.4. Variação média horária dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar: saldo de radiação (R_n), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o mês de setembro de 2011	26
Figura 4.5. Variação média horária dos componentes do balanço de energia sobre a	29

cana-de-açúcar: saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o período estudado de junho a setembro de 2011

- Figura 4.6.** Totais diários dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar: saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o mês de Junho de 2011 **30**
- Figura 4.7.** Totais diários dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar: saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o mês de Julho de 2011 **31**
- Figura 4.8.** Totais diários dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar: saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o mês de Agosto de 2011 **31**
- Figura 4.9.** Totais diários dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar: saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o mês de Setembro de 2011 **32**
- Figura 4.10.** Variação média dos totais diários dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar: saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o período estudado de junho a setembro de 2011 **34**
- Figura 4.11.** Partição do saldo de radiação (Rn) em fluxo de calor latente (LE/Rn), calor sensível do ar (H/Rn), fluxo de calor no solo (G/Rn) para os meses Junho, Julho, Agosto e Setembro em cana-de-açúcar **36**

LISTA DE TABELAS

	PG
Tabela 3.1. Textura do solo da área experimental nas camadas 0-20; 21-50; 51-100 cm. Fazenda Capim II, Capim, PB	14
Tabela 4.1. Resumo dos componentes do balanço de energia; valores máximos; mínimos e médias mensais horárias durante o período experimental	27
Tabela 4.2. Resumo dos valores máximos, mínimo e média dos totais diários dos componentes do balanço de energia, durante o período experimental	33
Tabela 4.3. Valores médios dos componentes do balanço de energia (R_n , LE , H , G) e da partição do saldo de radiação (R_n) em fluxo de calor latente (LE/R_n), calor sensível do ar (H/R_n), fluxo de calor no solo (G/R_n) para os meses Junho a Setembro de 2011	36

RESUMO

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande importância no cenário nacional, ocupando grandes extensões de terras, atuando como agente relevante tanto em relação a aspectos sociais, quanto ambientais. A micrometeorologia permite estudar as interações das culturas com o ambiente, quantificando os fluxos energéticos e permitindo avaliar as transformações da energia radiante em calor latente e sensível, tendo estas informações aplicabilidade direta na agricultura. Os objetivos deste trabalho foram caracterizar os componentes do balanço de energia, em bases horárias e totais diários, como também a partição de energia disponível, para evapotranspiração, aquecimento do meio ambiente e aquecimento do solo, em cultivo de cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros do Estado da Paraíba. Para tal, instalou-se uma estação micrometeorológica, em cultivo comercial da variedade RB 92579 de cana-soca (terceira folha), no campo experimental da Fazenda Capim II pertencente à Destilaria Miriri S/A, município de Capim - PB, no período de junho a setembro de 2011. Foram coletados dados do saldo de radiação, radiação solar incidente e refletida, temperatura dos bulbos seco e úmido acima do dossel e fluxo de calor no solo. Os fluxos de calor latente e sensível foram obtidos pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen. A variação de disponibilidade de irradiação solar influenciou diretamente o balanço de energia. As maiores amplitudes horárias foram observadas durante a estação menos chuvosa (agosto a setembro) com valores de $347,54 \text{ W m}^{-2}$. Em termos de partição de energia, a energia disponível foi, em média para o período de observações (junho a setembro), 78,13% consumida como calor latente, 15,10% como calor sensível e 6,91% como calor no solo.

Palavras-chave: Fluxos de energia, razão de Bowen, partição de energia.

ABSTRACT

The sugar cane is an important crop in the national scene, occupying large tracts of land, acting as agent both in relation to relevant social, and environmental. The micrometeorology allows studying the interactions of cultures with the environment, quantifying the energy flows and allows assessing the transformations of radiant energy into latent and sensible heat, and this information direct application in agriculture. The objective of this study was to characterize the components of energy balance in hourly and daily totals bases, as well as the partition of energy available for evapotranspiration, warming the environment and soil heating in sugarcane grown in the coastal plains of Paraíba state. For that, a micrometeorological station was settled in a commercial cultivation of ratoon cane variety RB 92.579 (third sheet) in the experimental field of the farm Capim II belonging to Distillery Miriri S/A, City of Capim-PB, from June to September 2011. Data were collected for net radiation, incident and reflected solar radiation, temperature of dry and wet bulb above the canopy and soil heat flux. Flows of latent and sensible were obtained by the method of energy balance based on the Bowen ratio. The variation of availability of solar radiation directly influences the energy balance. The highest hourly amplitudes were observed during the less rainy season (August - September) with values 347.54 W m^{-2} . In terms of partition of energy, the energy available was, on average for the observation period (June to September), 78.13% consumed as latent heat, 15.10% as sensible heat and 6.91% as soil heat flux.

Keywords: Energy fluxes, Bowen ratio, energy partition.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar é uma usina de enorme eficiência, uma vez que cada tonelada de cana tem um potencial energético equivalente a 1,2 barris de petróleo. No Brasil, planta-se cana-de-açúcar no Centro-Sul e no Norte-Nordeste, resultando em dois períodos de safra no ano. Em média, 55% da cana-de-açúcar produzida é transformada em álcool e 45% em açúcar (UNICA, 2012). Em função do longo período de cultivo, é influenciada pelas variações climáticas durante todo o ano. Para atingir alta produtividade, a planta precisa de condições adequadas que permitam o máximo crescimento na fase vegetativa, seguidas de restrição hídrica ou térmica para favorecer o acúmulo de sacarose na época da colheita (BARBIERI et al., 1979).

Os principais elementos climáticos que influenciam no desempenho da cana-de-açúcar são: irradiação solar, temperatura do ar e do solo, precipitação pluvial, umidade do ar e velocidade do vento. Dentre esses elementos, a irradiação solar, temperatura e a chuva são provavelmente os de maior significância para o bom desenvolvimento desta cultura. Netafin, baseado no trabalho de Ramanujam e Venkaturamana (1999), relata que a faixa de irradiação solar para o adequado crescimento da cana-de-açúcar é de 18 a 36 MJ m⁻². A faixa de temperatura adequada para o desenvolvimento da cana é de 25 °C a 33 °C, e o total pluvial anual para o adequado crescimento é 1200 mm (BISWAS, 1998). Embora a região dos tabuleiros costeiros do estado da Paraíba se apresente nessa faixa de temperatura e precipitações que chegam a 1600 mm, ocorrem problemas devido à irregularidade sazonal da chuva. De acordo com Souza et al. (2005), quatro meses (Maio, junho, julho e agosto) estão abaixo dessa faixa. Esse cenário para a agricultura se agrava, visto que a época de maior disponibilidade energética (irradiação solar) coincide com a estação seca dessa região. Desta forma, o planejamento de épocas adequadas de plantio e corte, em vista de proporcionar quantidades adequadas de irradiação solar é visto como um dos pontos chave para aumentar os índices produtivos da cultura.

Os processos físicos regentes na superfície próximos a atmosfera, tais como evaporação da água, aquecimento do ar e do solo e entre outros são dependentes da quantidade de energia disponível no meio. Essa quantidade de energia é chamada de saldo de radiação (R_n). O conhecimento dessa variável em superfícies vegetadas é de suma importância, pois sua quantificação é requerida na determinação do balanço de energia e, conseqüentemente, na estimativa da demanda hídrica real das culturas.

O balanço de energia sobre as superfícies permite quantificar a energia utilizada nos diferentes processos ali reinantes. Em superfícies vegetadas, o balanço de energia pode ser obtido pelo método da razão de Bowen. O método é relativamente simples, consistindo em estimar a razão entre o fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e calor no solo (G) através da temperatura e umidade relativa do ar, em pelo menos dois níveis acima da superfície (Bowen, 1926). Para tanto, o conhecimento preciso do consumo de irradiação solar pela cultura na região é de suma importância.

Com base no exposto, neste trabalho objetiva-se: caracterizar os componentes do balanço de energia (R_n , LE, H, G), baseado na razão de Bowen, em bases horárias e totais diurno, como também a partição de energia, usada para evaporação da água (LE/ R_n), para aquecimento do meio ambiente (H/ R_n) e a energia usada para aquecimento do solo (G/ R_n), em cultivo de cana-de-açúcar, ciclo cana-soca, terceira folha, em regime de sequeiro, nos tabuleiros costeiros paraibano, nos meses de junho a setembro de 2011, meses que compreenderam as fases de desenvolvimento dos colmos e maturação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar estabeleceu ciclos históricos de grande importância econômica e social para o Brasil desde sua introdução pelos portugueses na época colonial (SOUZA, 2005). Seus principais derivados são o açúcar (alimento) e o álcool (hidratado e anidro), imprescindíveis ao mercado mundial; outros produtos, também, originados dessa cultura são a aguardente, o bagaço de cana que é utilizado principalmente como fonte de energia, a vinhaça - que serve de fertilizante, o plástico e o papel (SOUZA et al., 1999).

A cultura da cana-de-açúcar é uma usina de enorme eficiência, uma vez que cada tonelada de cana tem um potencial energético equivalente a 1,2 barris de petróleo. No Brasil, planta-se cana-de-açúcar no Centro-Sul e no Norte-Nordeste, resultando em dois períodos de safra no ano. Em média, 55% da cana-de-açúcar produzida é transformada em álcool e 45% em açúcar (UNICA, 2012).

A cana-de-açúcar é uma planta C4 pertencente à família das gramíneas, explorada economicamente em regiões com diferentes condições edafoclimáticas, situadas entre as latitudes 37°N a 32°S. A cana caracteriza-se como cultura de clima tropical, quando implantada, o ciclo produtivo da cana pode ser de 12 meses (cana de ano) ou de 18 meses (cana de ano-e-meio). Após o primeiro ano de produção o ciclo da cana passa a ser de 12 meses para todas as variedades. A cana-de-açúcar, em função do longo período de cultivo, é influenciada pelas variações climáticas durante todo o ano. Para atingir alta produtividade, a planta precisa de condições adequadas que permitam o máximo crescimento na fase vegetativa, seguidas de restrição hídrica ou térmica para favorecer o acúmulo de sacarose na época da colheita (BARBIERI et al., 1979).

Os principais elementos climáticos que influenciam no desempenho da cana-de-açúcar são: irradiação solar, temperatura do ar e do solo, precipitação pluvial, umidade do ar e velocidade do vento. Dentre esses elementos, a irradiação solar, temperatura e a chuva são provavelmente os de maior significância para o bom desenvolvimento desta cultura. Netafin, baseado no trabalho de Ramanujam e Venkaturamana (1999), relata que a faixa de irradiação solar para o adequado crescimento da cana-de-açúcar é de 18 a 36 MJ m⁻². De acordo com Souza et al. (2005), quatro meses (Maio, junho, julho e agosto) estão abaixo dessa faixa. A faixa de temperatura adequada para o desenvolvimento da cana é de 25° a 33°C, e o total pluvial anual para o adequado crescimento é 1200 mm (BISWAS, 1998).

A preocupação crescente por fontes de energias renováveis e menos poluentes tem elevado a demanda de biocombustíveis, dentre os quais se destaca o etanol proveniente da cana-de-açúcar. Com isso, a área de cultivo tem se expandido muito, sobretudo no centro-sul brasileiro (ALMEIDA et al., 2008). Atualmente, o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo Unica (2012), sendo responsável, em termos mundiais, por aproximadamente 20% da produção e 40% das exportações. Segundo a Conab (2012), a produção da safra 2011/2012 foi de 560,36 milhões toneladas e com previsão de aumento para o período de 2012/2013 chegando a 596,63 milhões de toneladas, sendo a Região Norte-Nordeste a maior produtora do estado, porém com uma das menores produtividades do país.

2.2. Balanço de Energia

O estudo do balanço de energia permite quantificar a energia consumida pelos processos que atuam na superfície, tais como, fluxo de calor latente (evapotranspiração), calor sensível do ar (aquecimento do ar) e do solo, assim como a partição da energia disponível entre esses processos. Desta forma, pode-se avaliar, em termos energéticos, as modificações e impactos no microclima decorrentes de mudanças no uso e ocupação do solo (vegetação nativa, culturas agrícolas, pastagem, entre outras), de diferentes práticas agrícolas (irrigação e cobertura morta (mulching)) e do crescimento e desenvolvimento da cultura.

2.2.1. Radiação solar

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

Sendo, o Sol considerado a principal fonte de energia da Terra, influenciando em praticamente todas as atividades humanas e no clima, propicia o aquecimento diferencial das regiões do globo terrestre, originando os movimentos das massas de ar tanto em escala global (circulação geral da atmosfera) como em meso (ventos locais) e micro (chuvas convectivas)

escalas (NICÁCIO et al., 2002).

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

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

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

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

A vegetação é um importante receptor e armazenador orgânico dessa energia solar, pois interfere na quantidade que será absorvida pela superfície da terra em função do seu albedo, exercendo ainda, um importante papel no armazenamento da energia solar na

biomassa por meio da sua alta capacidade térmica da assimilação da energia na forma de carboidratos (JARVIS et al., 1997).

2.2.1.1. Equações do balanço de radiação

A Terra, ao receber radiação solar, direta ou difusa (ondas curtas), terá sua temperatura aumentada, emitindo conseqüentemente radiação de ondas longas, obedecendo à Lei de Stefan-Boltzmann: “a energia emitida por um corpo E_r , em (Wm^{-2}) é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta T , em (K)”.

$$E = \epsilon \sigma T^4 \quad (2.1)$$

onde ϵ é a emissividade do corpo ($\cong 1$) e σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} Wm^{-2} K^{-4}$) (AYOADE, 1998).

A quantidade de radiação solar incidente sobre o topo da atmosfera da Terra depende principalmente de três fatores: do período do ano, do período do dia e da latitude. A quantidade total de radiação recebida em determinado local é afetada pela duração do dia. Essa quantidade, geralmente, aumenta ou diminui com o aumento da latitude, a depender da estação. A distribuição da radiação solar não é simétrica devido ao movimento de rotação e translação da Terra.

O balanço de radiação, que é característico da superfície e que representa a radiação líquida (R_n), é definido como a soma do balanço de ondas curtas (BOC) e balanço de ondas longas (BOL).

$$R_n = BOC + BOL \quad (2.2)$$

Em função dos valores de cada um desses fluxos, R_n poderá ter valor positivo ou negativo. Durante o período diurno, o BOC é positivo, sendo nulo no período noturno. Segundo Pereira et al. (2002), normalmente o valor diário do BOL em uma superfície natural é negativo. Isso faz com que, nas superfícies naturais, o valor diurno do BOC (maior do que o do BOL) torne R_n positivo nesse período do dia e negativo no período noturno. Esse é um modo de a superfície eliminar parte da energia solar absorvida e que se transformou em calor sensível.

O balanço energético é uma aplicação da primeira lei da termodinâmica, em que deve existir uma igualdade entre o balanço de energia recebida (Energia Incidente) pelo

ecossistema e a soma da energia liberada sob a forma de calor sensível e latente (Energia Emitida), e da energia armazenada pelo ecossistema, isto é, solo (G) e biomassa (ΔS) (ROBINSON, 1966).

No período diurno o solo recebe radiação solar em forma de ondas curtas. Parte dessa radiação é devolvida ao espaço devido ao albedo (R_S). O solo irá emitir radiação longa (R_l) e parte é retransmitido pelas nuvens (R_a). A superfície do solo, quando aquecida, cede energia para aquecimento do ar (H), para evaporação da água (LE) e para aquecimento de camadas mais profundas do solo (G).

Durante a noite, devido à ausência do Sol, a Terra continua perdendo rapidamente energia, resfriando mais que o ar adjacente e que camadas mais profundas do solo. Conseqüentemente, no balanço de energia noturno, a Terra emite radiação longa (R_l), a atmosfera emite para a Terra radiação longa refletida pelas nuvens (R_a). Como o solo está mais frio que o ar adjacente, o vapor d'água, ao atingi-lo, é condensado, dessa forma a Terra recebe calor latente (LE) de condensação.

A superfície com temperatura baixa faz com que a condução de calor das camadas mais profundas do solo (G) seja dirigida para cima em direção a ela e finalmente o ar mais aquecido imediatamente acima da superfície do solo (H) transfere energia por meio de condução para a superfície do solo.

A essência do conceito de balanço de energia está na afirmação de que a diferença entre a energia que entra e a energia que sai de um sistema é a energia captada ou utilizada por ele. Da energia que chega à superfície da Terra, parte é utilizada para aquecer o ambiente na forma de calor sensível (H), parte para evaporar a água na forma de calor latente (LE), parte para aquecer a Terra, fluxo de calor no solo (G), parte é utilizada na fotossíntese (P), e o restante utilizado pela biomassa (ΔS) (PEREIRA, 2002).

2.2.2. Estoque de energia próximo da superfície

O estudo do balanço de energia é fundamental para se compreender a distribuição da energia particionada para execução de diferentes finalidades (LEITÃO, 1994). Diversos processos atmosféricos, hidrológicos e biogeoquímicos são influenciados pelas contribuições da energia disponível na forma de calor sensível e calor latente, a partir superfície. Sendo assim, segundo Borges et al.(2008), o método do balanço de energia é utilizado, comumente, para se estimar a evapotranspiração de superfícies vegetadas e se baseia na análise do balanço

energético dos ganhos e perdas de energia térmica radiativa, condutiva e convectiva por uma superfície evaporante.

Estudos micrometeorológicos publicados por Baldocchi et al. (2000) e Meyers (2001) sobre trocas de energia e vapor d'água entre a atmosfera e a superfície vegetada indicam que ocorre uma considerável variabilidade inter sazonal da energia na superfície a curto e médio prazo e ocasionalmente ao longo dos anos.

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

Bowen (1926) desenvolveu o método do balanço de energia baseado no quociente entre os fluxos de calor sensível e latente, o qual combina as variáveis atmosféricas e a energia disponível na superfície evaporante. O conhecimento dos componentes do balanço de energia sobre superfícies cultivadas é de grande importância para a estimativa das perdas de água por evapotranspiração e caracterização do microclima local; além disso, ele pode contribuir para a utilização mais racional da água pelas culturas, cujas fases críticas de desenvolvimento são limitadas pelo fator hídrico. Segundo Arya (2001), existem quatro tipos de fluxo de energia em uma superfície, conhecidos como: saldo de radiação (R_n), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor no solo (G) e de calor sensível (H). Há também a energia armazenada na copa das plantas (S) e a utilizada no processo fotossintético (P), as quais não são computadas por ter uma baixa representatividade do saldo de radiação além de difícil contabilização.

A Razão de Bowen, a partir daí, é o parâmetro comumente utilizado para caracterizar a partição de energia disponível para o transporte turbulento entre cada fluxo. Essa partição determina as propriedades da camada limite planetária, influenciando o transporte vertical (convecção) e o transporte horizontal (advecção) de calor e umidade (GASH; NOBRE, 1996). Pereira (2001) em pesquisa utilizando a razão de Bowen, baseada em valores médios horários das 9 às 15 horas, obteve valores que variou de 0,37 em outubro a 0,56 em novembro, com valor médio de 0,46, nas estações seca e chuvosa em um ecossistema florestal. Em Petrolina – PE, Teixeira (2001) conduziu um experimento com o objetivo de quantificar e analisar a partição da energia solar disponível ao cultivo de bananeira, no seu primeiro ciclo de produção, e da demanda evaporativa da atmosfera. Neste estudo, o saldo de radiação sobre esta cultura foi utilizado, em média, como 87% no fluxo de calor

latente de evaporação (LE), 11% no fluxo de calor no solo (G) e 2% no fluxo de calor sensível (H). Também utilizando o método da razão de Bowen, Heilman et al. (1994) realizaram o balanço de energia na cultura da videira, em Lamesa -TX. O saldo de radiação variou de 12,5 a 18,9 MJ m⁻² d⁻¹. Sob condições de instabilidade acima das plantas, a partição desse saldo foi de 17-28% para fluxo de calor sensível (H), 11-29% para fluxo de calor no solo (G) e entre 46 e 61% para fluxo de calor latente (LE). Já Cunha et al. (1996) verificou, ao efetuarem o balanço de energia na cultura do milho, no Rio de Janeiro, que o saldo de radiação foi fracionado em 80% para o fluxo de calor latente (LE), 14% para o fluxo de calor sensível (H) e em 6% para o fluxo de calor no solo (G).

2.2.2.1. Equações do balanço de energia

O balanço de energia, baseado no princípio físico da conservação da energia, relaciona as densidades dos fluxos de energia disponível na vegetação (radiação líquida) com a energia utilizada, principalmente o calor latente na evaporação e o calor sensível nas variações de temperatura do ar e do solo (PEREIRA et al., 2002). Métodos micrometeorológicos quantificam estes fluxos e permitem avaliar as transformações da energia radiante em calor latente e sensível, representando, assim, a contabilidade destas interações. A radiação líquida pode ser considerada como um dos elementos meteorológicos principais no controle da evapotranspiração, mesmo em condições áridas em que por advecção, uma quantidade de calor sensível do ar pode ser convertida em calor latente. O conhecimento da demanda atmosférica, para o fluxo de calor latente, fornece subsídios necessários ao planejamento pelo uso racional da água na irrigação (ROSENBERG et al., 1983).

Uma equação simplificada do balanço de energia para uma superfície ideal, isto é, considerando uma superfície de interface fina entre dois meios, não tendo nenhuma capacidade de armazenar massa ou calor, os fluxos de energia fluem de dentro para fora da superfície, sem nenhuma perda ou ganho provocado pela superfície (ARYA, 2001). Então, pelo princípio da conservação de energia na superfície, tem-se:

$$R_n = H + LE + G \quad (2.3)$$

onde R_n é a radiação líquida, H é o fluxo de calor sensível, LE é o fluxo de calor latente e G é o fluxo de calor no solo.

A Equação (2.3) descreve como a radiação líquida na superfície deve ser equilibrada por uma combinação dos fluxos de calor sensível e latente e o fluxo de calor no solo.

Durante o dia, a superfície recebe energia radiativa ($R_n > 0$), que é dividido em fluxo de calor sensível (H), fluxo de calor latente (LE) para a atmosfera e fluxo de calor para o subsolo (G).

Durante a noite, a superfície perde energia por radiação invertidas, especialmente em condições claras ou parcialmente nubladas. Esta perda é compensada por ganhos de calor do ar e do solo, e, às vezes, do calor latente de condensação liberada durante o processo de formação de orvalho. Convencionalmente, todos os termos do balanço de energia (H, LE e G) da Equação (2.3) serão positivos durante o dia e negativos durante a noite. As magnitudes do fluxo de calor para o solo G não diferem muito entre dia e noite, embora a direção ou sinal obviamente inverta durante os períodos de transição entre manhã e noite, quando os fluxos de LE e H também mudam de sinal (ARYA, 2001).

A partir da descrição acima do ciclo diurno do estoque de energia da superfície, fica evidente que os fluxos de calor sensível e latente, saindo ou entrando na superfície, são regidos pelo ciclo diurno da radiação líquida. Pode-se interpretar a Equação (2.3) em termos de partição da radiação líquida em relação a outros fluxos (H, LE e G). A radiação líquida R_n pode ser considerada uma forçante externa, enquanto os fluxos de calor sensível, latente e no solo são efeitos dessa forçante radioativa. Medidas relativas a essa partição são as razões: H/R_n , LE/R_n , e G/R_n , que se prevê venham depender das diversas superfícies, subsolo e características micrometeorológicas. Espera-se que as variações diurnas dessas frações sejam muito menores que seus fluxos individuais. Destes, a proporção G/R_n deve apresentar a menor variabilidade, especialmente para determinada superfície terrestre, porque esta porção não é tão sensível às variações de parâmetros micrometeorológicos na superfície como H/R_n , e LE/R_n . A proporção G/R_n é maior no período noturno ($R_n < 0$) e menor no período diurno ($R_n > 0$) (ARYA, 2001). Na determinação das necessidades hídricas da mangueira irrigada na região semi-árida do rio São Francisco, nos anos de 1998 e 1999, utilizando a razão de Bowen, Silva et al. (2006), obtiveram partição do saldo de radiação de 77,68% para o fluxo de calor latente (LE), 18,01% para o fluxo de calor sensível (H) e 4,36% para o fluxo de calor no solo (G).

Souza (2003) em pesquisa realizada na Paraíba com a cultura do abacaxizeiro, utilizando o balanço de energia com base na razão de Bowen, observou fracionamento dos componentes do balanço de energia em relação a R_n , durante o ciclo da cultura, ele

observou que o fluxo de calor latente (LE) variou de um mínimo de 75%, na colheita, a um máximo de 86%, nas fases de crescimento vegetativo e de formação do fruto; o calor sensível (H) foi 10% na fase de crescimento vegetativo; enquanto na fase de florescência/queda de flores foi 25%; o fluxo de calor no solo (G) variou de 4%, na colheita, a 14% na fase de crescimento vegetativo.

Teixeira et al. (1997), avaliando os componentes do balanço de energia ao longo dos estádios de desenvolvimento de um cultivo de videira, em Petrolina-PE, utilizando-se da razão de Bowen, verificaram que, em média, a maior porção do saldo de radiação disponível para o cultivo foi utilizada para o fluxo de calor latente (82%), seguido do fluxo de calor sensível (13%) e o fluxo de calor no solo (5%). Observaram, também, que a prática de irrigação interfere nas trocas entre a comunidade vegetal e a atmosfera circundante, aumentando a relação LE/Rn e diminuindo H/Rn.

A real magnitude dos vários componentes dos orçamentos da energia de superfície depende de muitos fatores, tal como o tipo da superfície e suas características (umidade do solo, textura, vegetação, etc.), localização, mês ou estação, hora do dia e água. Em condições especiais, isto é, quando um campo é irrigado, H e/ou LE pode tornar-se negativo e o fluxo de calor latente, devido ao resfriamento evaporativo da superfície, pode ultrapassar o saldo de radiação recebida na superfície.

O método do balanço de energia, ao contrário de outras técnicas que utilizam a teoria do fluxo gradiente, não necessita de informações de velocidade do vento e propriedades aerodinâmicas da superfície, sendo que o cálculo dos fluxos independe das condições de estabilidade atmosférica quando se assume que os transporte turbulentos de vapor e calor sejam iguais. De acordo com Heilman & Brittin (1989), a principal exigência do método é que os gradientes de umidade do ar e temperatura sejam medidos dentro da camada limite ajustada.

Ao redor do mundo e no Brasil vários pesquisadores (Allen et al., 1998; Perez et al., 1999; Teixeira, 2001; Toledo Filho, 2001; San José et al., 2003; Lima et al., 2005; Rodrigues, 2006; Vila Nova et al., 2006; Azevedo et al., 2007; Oliveira et al., 2009; André et al. 2010) têm se dedicado ao estudo da contabilização do processo de evapotranspiração a partir do método do balanço de energia, sendo importantes as informações geradas por estes trabalhos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Cultura Estudada

A pesquisa foi desenvolvida com a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L) cultivar RB 92579 de cana-de-açúcar (planta-soca, terceira folha) em regime de sequeiro, cana que se destaca pela alta produtividade na região do litoral norte paraibano. É uma cana precoce e de alta adaptabilidade, recomendada para áreas de média a baixa fertilidade, com colheita nos meses de setembro a novembro (RIDESA, 2003).

3.2. Área Experimental

O experimento foi conduzido no campo experimental da Fazenda Capim II pertencente à Destilaria Miriri S/A localizada no município de Capim, PB (latitude 6°54'59,88"S, longitude 35°09'17,86" O e altitude de 121,00 m), na Microrregião do Litoral Norte e na Mesorregião da Zona da Mata do Estado da Paraíba, inserido na unidade Geoambiental dos Tabuleiros Costeiros e possui limites com os municípios de Sapé (23 km), Cuité de Mamanguape (9,5 km), Itapororoca (15 km), Mamanguape (9 km), Rio Tinto (15 km) e Santa Rita (28 km) (Ministério de Minas e Energia, 2005) (Figura 3.1) e vista aérea da área experimental, exibida na Figura 3.2.

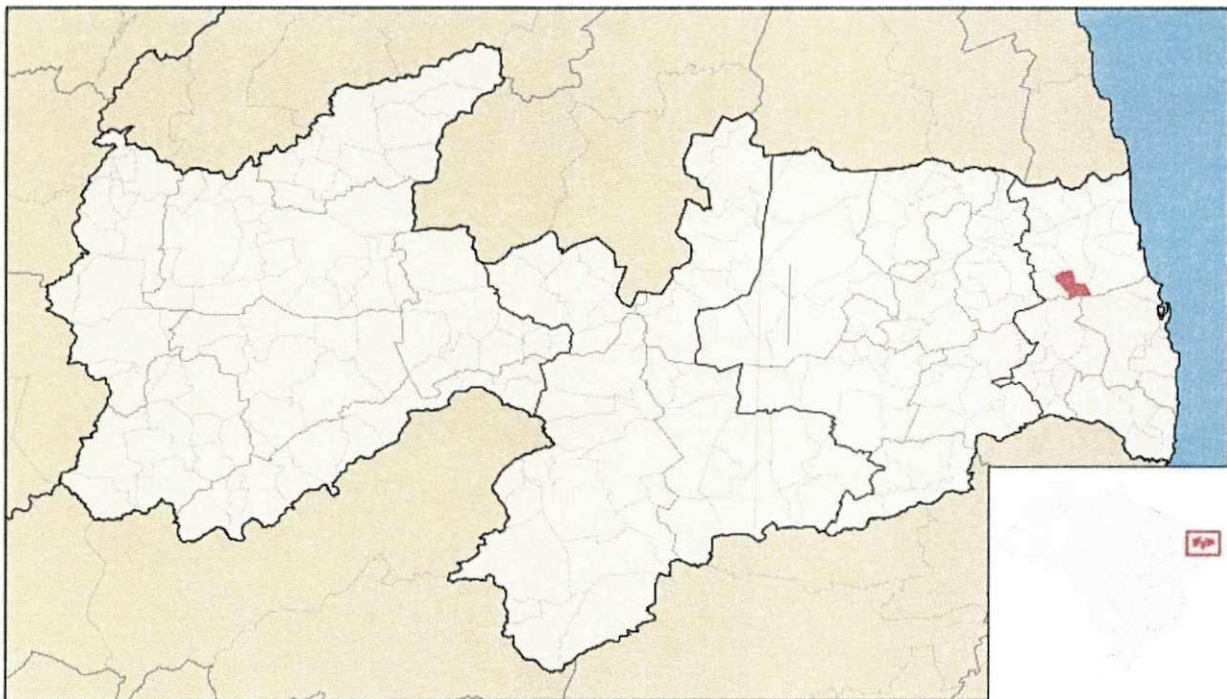


Figura 3.1. Mapa de localização dos municípios de Capim/PB.



Figura 3.2. Vista aérea da Usina Miriri e local da pesquisa em Capim, PB

3.3. Clima e Solo da Região

De acordo com a classificação de Köppen o clima da região onde estava localizada a parcela experimental é do tipo As' (quente e úmido), com temperatura média anual de $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, a precipitação média anual de 1.600 mm , com seis meses secos; e chuvas de outono a inverno de acordo com (SILVA et al. 2004). O bioclima é classificado como Mediterrâneo ou Nordeste quente de seca atenuada (Secretaria de Educação - PB e Universidade Federal da Paraíba, 1985). Na Figura 3.3, estão apresentados os eventos de chuvas ocorridas no período experimental; os dados utilizados foram coletados no site www.inpe.br do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo os dados de uma estação agrometeorológica instalada a cerca de 1 km do local do experimento.

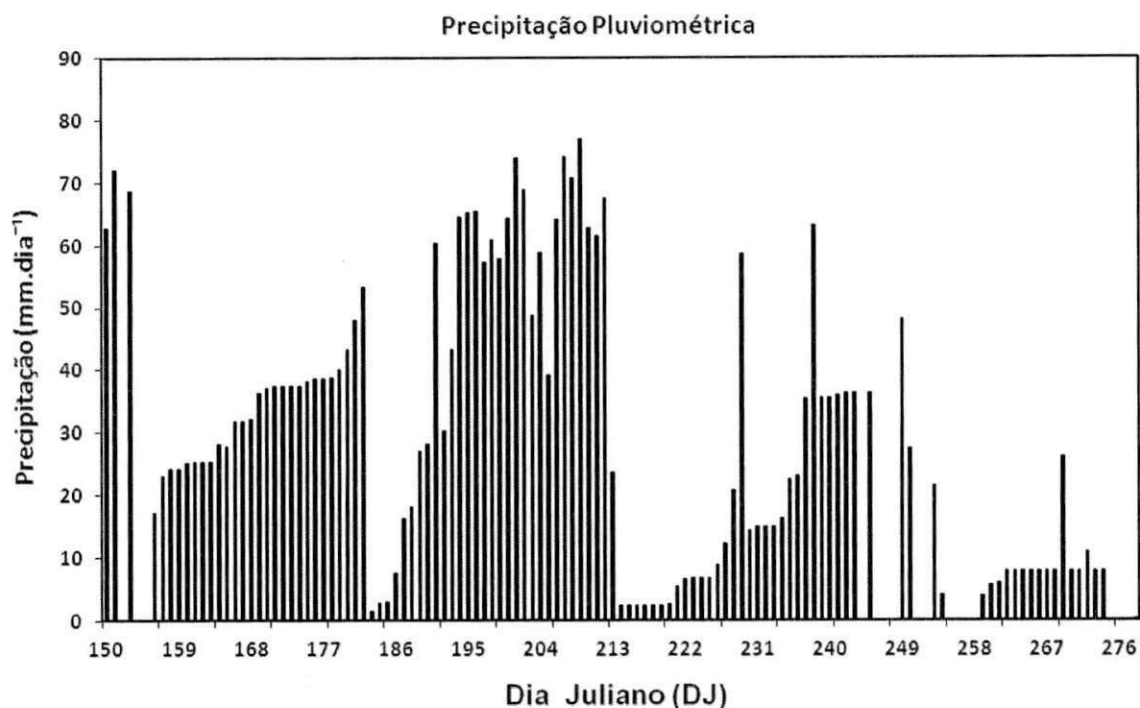


Figura 3.3 - Precipitação ocorrida durante o experimento, para os meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro de 2011.

A região possui solos do tipo: - Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico, Bruno Não Cálcico Planossólico, Litólico Eutrófico, Planossolo Solódico, Terra Roxa Estruturada Eutrófica e Afloramentos de Rochas, além de apresentar predominância de terrenos sedimentares, de areias pertencentes ao grupo barreiras, mangues, terrenos influenciados das marés, arenitos, variegados e calcários (SEMARH, 2004). O solo predominante na fazenda é do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, de acordo com a classificação proposta por EMBRAPA (1999). A área experimental é constituída por um solo de textura média, com capacidade de armazenar, em média 61 mm. A textura do solo da área experimental é apresentada na Tabela 3.1, para o perfil de 0 a 100 cm de profundidade.

Tabela 3.1. Textura do solo da área experimental nas camadas 0-20; 21-50; 51-100 cm. Fazenda Capim II, Capim, PB.

Camadas/ Textura	0-20	21-50	51-100
Areia	73,00	68,86	55,64
Silte	3,75	3,77	9,86
Argila	23,25	27,37	33,50

3.4. Observações Micrometeorológicas

Na Fazenda Capim II foi instalada em 30/05/2011 uma torre em estrutura metálica de 6 m de altura com equipamentos de medições micrometeorológicas que permitiram a coleta e registros de dados, durante 24 horas por dia (Figura 3.4). As medidas micrometeorológicas utilizadas na determinação do balanço de energia foram realizadas durante os meses de Junho a Setembro de 2011, período que compreendeu os estágios fenológico de desenvolvimento dos colmos (DAC 262 a 307) e de maturação (DAC 308 a 388).

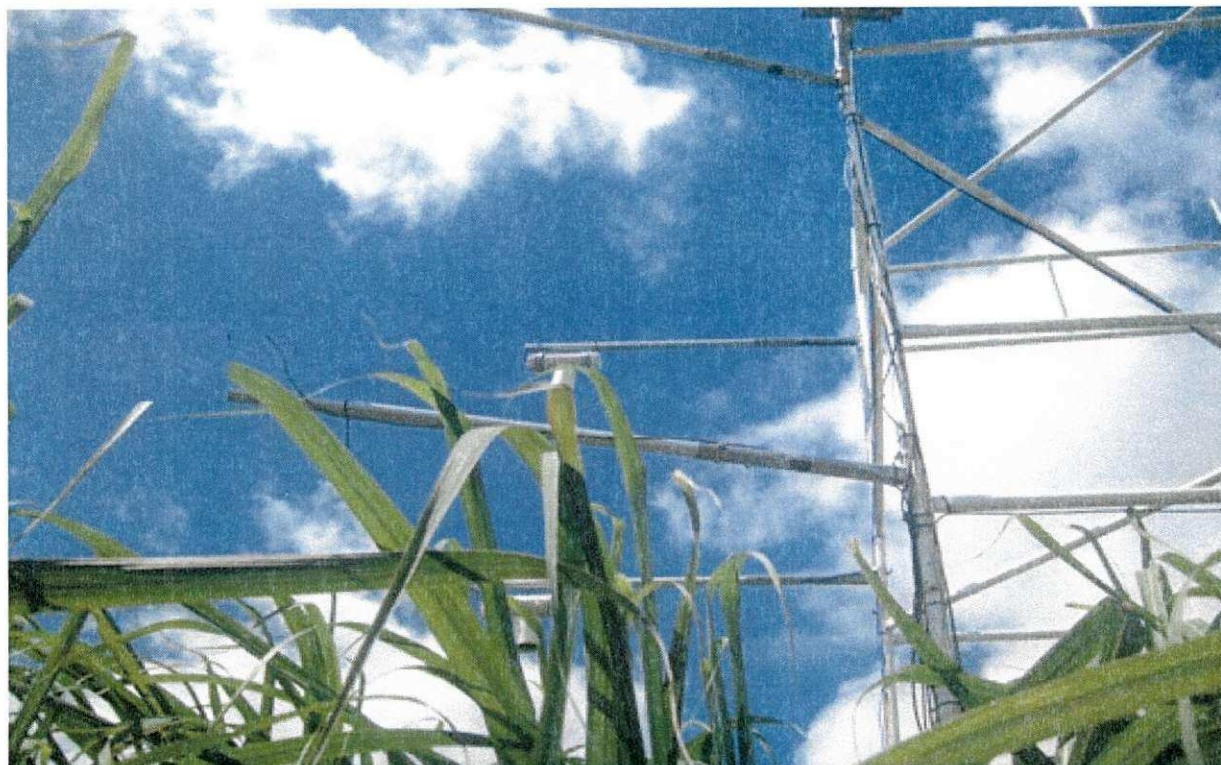


Figura 3.4. Torre micrometeorológica instalada no centro do canal na Fazenda Capim II, em Capim, PB.

3.4.1. Instrumentação

Na torre foram instalados diversos sensores para monitoramento de diferentes variáveis, sendo que para o presente trabalho foram utilizados: saldo de radiação (R_n), radiação solar global (R_g) e refletida (R_r), temperaturas dos bulbos seco (T_s) e úmido (T_u) e temperatura do ar, em níveis acima do dossel da cultura e fluxímetros a 2 cm de profundidade. Com a evolução da altura da cultura ocorreu elevação na altura desses sensores, de modo que os níveis de medição se mantivessem nas alturas estabelecidas.

As medidas de saldo de radiação (R_n) sobre a vegetação foram obtidas por meio de um saldo radiômetro (modelo NR LITE, marca Kipp e Zonen) posicionado sobre a copa das

plantas a 0,5 m de altura (Figura 3.5 A), com constante de calibração igual a $13,7 \mu \text{ V/Wm}^2$. A radiação global (R_g) e a radiação refletida (R_r) foram medidas por meio de dois piranômetros (modelo CM3, marca Kipp & Zonen) instalados a 0,5 metros de altura, um com a face voltada para cima (R_g) e o outro para baixo (R_r) (Figura 3.5 B), com constante de calibração igual a $17,44 \mu \text{ V/Wm}^2 R_g$ e $19,10 \mu \text{ V/Wm}^2 R_r$.

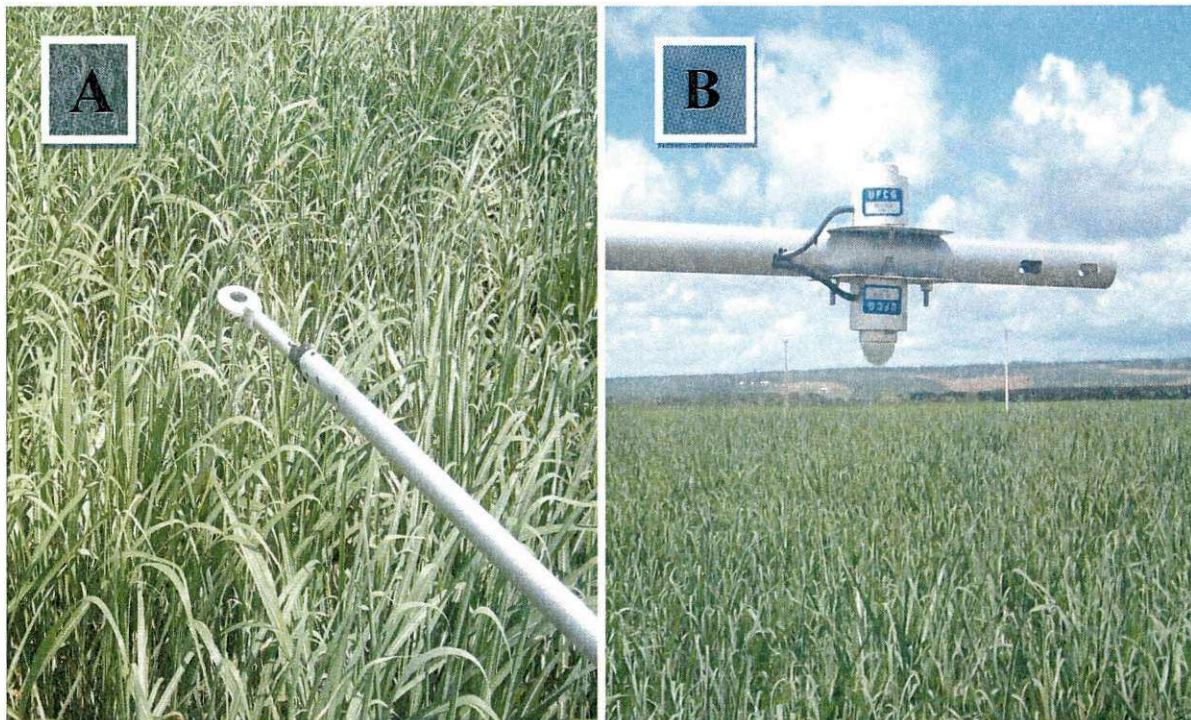


Figura 3.5. Saldo radiômetro (A); Piranômetros (B), sobre o dossel de cana-de-açúcar.

A temperatura do bulbo seco (T_s) e úmido (T_u) foi determinada por dois psicrômetros ventilados aspirados de cobre-constantan devidamente calibrados, situados a 0,5 e 1,5m acima do dossel vegetativo (Figura 3.6 A). Para o pleno funcionamento, foram feitas revisões mensalmente com a troca da água do compartimento de 250 mL e semanalmente com a troca da bateria (Zetta de 45Ah 12 VDC) utilizada para alimentar os coolers que compõem os psicrômetros (Figura 3.6B), sendo que nesse processo foram utilizada duas baterias de forma alternada, quando uma era utilizada a outra estava carregando para ser utilizada posteriormente na próxima semana.



B



Figura 3.6. Psicrômetro aspirado de cobre-constantan (A), Bateria Zetta 45 Ah instalada no sistema (B).

Problemas ocorridos com a instalação do termohigrômetro (modelo HMP45C, marca Campbell Scientific, Inc.), para a determinação da temperatura do ar, impossibilitou o uso dos dados do mesmo, sendo utilizados na presente pesquisa dados de temperatura do módulo fotovoltaico I-100 com potência nominal de 100Wp, utilizado para carregar a bateria que alimentou o Datalogger durante a pesquisa em campo (Figura 3.8 B).

Para medições do fluxo de calor no solo (G), foram instalados próximo à torre micrometeorológica dois fluxímetros (modelo HFT3, marca Campbell Scientific, Inc.), um entre

plantas (G_1) e outro entre filas (G_2) posicionados a 2 cm de profundidade a partir da superfície do solo (Figura 3.7), com constantes de calibração equivalentes a $17,152 \mu V/Wm^2 G_1$ e $16,207 \mu V/Wm^2 G_2$.



Figura 3.7. Placa de fluxo de calor HFT3.

3.4.2. Sistema de aquisição de dados

Todos os sensores foram conectados a um sistema automático de aquisição e armazenamento de dados Datalogger (modelo CR1000, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA.), alimentado por energia solar captada em um painel fotovoltaico de 12 volts e armazenado em uma bateria (Figura 3.8 A). Os dados coletados foram armazenados no próprio datalogger por meio do uso do programa PC 200 W, sendo que os mesmos eram descarregados semanalmente em microcomputador utilizando-se da interface CSI do datalogger em conexão com a porta serial USB do microcomputador.

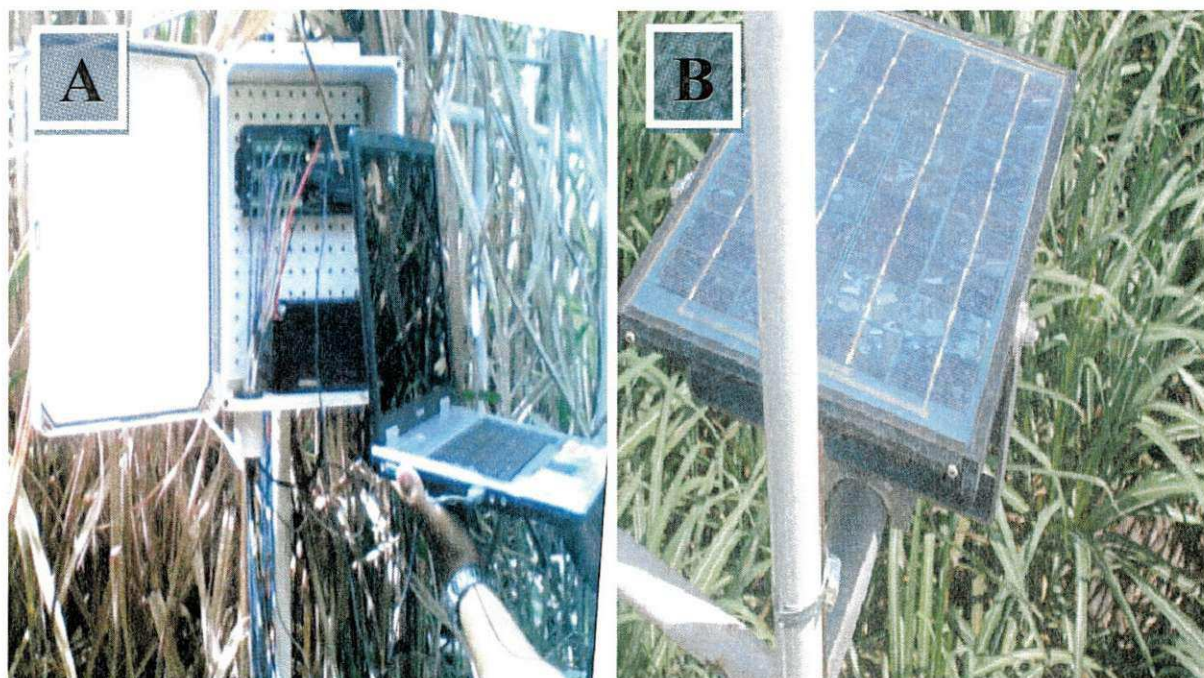


Figura 3.8. Datalogger CR 1000 Campbell Scientific, Inc., USA e bateria para armazenamento de energia (A); painel fotovoltaico (B).

O software PC 200 W utiliza linguagem própria com 95 instruções diferentes, que são elaboradas de acordo com as necessidades da pesquisa, os sinais gerados pelos instrumentos foram inseridos em forma de coluna de dados no programa, ao receber os fatores de calibração de cada instrumento, gera colunas de sinais em unidades de potência (Wm^2) (Figura 3.9). Na presente pesquisa o sistema de aquisição dos dados meteorológicos foi programado para efetuar leituras a cada 05 segundos e fazer médias e totalizações dos valores lidos a cada 20 minutos durante a pesquisa em campo.

Profibr							
Temp_Ar	16,824	TJC1_1	21,806	ICC1_1	0,00708	VCC1_1	20,636
Umid_Ar	68,432	TJC1_2	-99999	ICC1_2	0,03541	VCC1_2	19,604
Vel_Vento	5,3116	TJC1_3	-99999	ICC1_3	0,04957	VCC1_3	19,355
Dir_Vento	114,88	TJC1_4	-99999	ICC1_4	0,00000	VCC1_4	17,729
RadSol_H	629,60	TJC2_1	21927	ICC2_1	0,04655	VCC2_1	19,970
RadSol_IV	685,43	TJC2_2	-99999	ICC2_2	0,03990	VCC2_2	19,594
RadSol_IF	763,05	TJC2_3	-99999	ICC2_3	0,04655	VCC2_3	19,411
Ind_Fluv	0,00000	IAeroger	4,2857	ICC2_4	3,4847	VCC2_4	0,56158
TTC1_1	23,565	ICargaCC	9,7209				
TTC1_2	21,788	IInversor	0,50903				
TTC1_3	22,466	Icpi_3	3,2841	Vcpi_3	14,121	P3_PNL1	54,299
TTC3_1	21,341	IFotovolta	11,379	Vcpt_3	13,423	P3_TOT	59,609
TTC3_2	22,671	Icdc	9,4745	Vcr	12,865		
TTC3_3	21,378	Icbat	5,9770	Vcbat	11,051		

Figura 3.9. Tela do programa PC200W, utilizado para a coleta remota dos dados do sistema.

3.5. Aquisição dos Dados Teóricos

3.5.1. Balanço de energia com base no método da razão de Bowen

Os componentes do balanço de energia foram avaliados pelo método do balanço de energia – Razão de Bowen (BERB) entre 01/06 a 30/9/2011, que coincidiu com parte do período chuvoso da região (Figura 3.3). O método de balanço de energia se baseia no princípio físico de conservação de energia de acordo com a seguinte expressão (Rosenberg et al., 1983).

$$R_n + LE + H + G + S + P = 0 \quad (3.1)$$

em que R_n é o saldo de radiação (energia disponível ao sistema analisado), LE e H são os fluxos verticais de calor latente e sensível, respectivamente; G é o fluxo de calor no solo, S é

a energia armazenada no dossel vegetativo e P é a energia utilizada no processo fotossintético que não foram consideradas, visto que representam menos de 1% do saldo de radiação (Heilman et al., 1994). Todos os termos da Equação (3.1) são expressos em $W m^{-2}$. O balanço de energia foi efetuado sobre o dossel da cana-de-açúcar assumindo-se como volume de controle que compreende profundidade de 2 cm do solo e a altura do psicrômetros mais altos (1,50 m). Foram também consideradas que as densidades de fluxo vertical que chegam à camada vegetativa são positivas, enquanto as que saem são negativas (OHMURA, 1982; LOPES et al., 2001; SILVA et al., 2006).

A seguir, serão descritos os métodos pelos quais foram determinados os componentes da equação do balanço de energia. Vale lembrar que a equação (3.1.1) simplificada do balanço de energia tem 4 termos e que somente 2 podem ser medidos diretamente, saldo de radiação (R_n) e o fluxo de calor no solo (G) (LIMA et al., 2005; TODD et al., 2000):

$$R_n + LE + H + G = 0 \quad (3.1.1)$$

3.5.2. Fluxo de calor latente

A razão de Bowen (β), que corresponde à fração de energia entre os fluxos de calor sensível (H) e latente (LE), e obtida como:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{P_0 C_p}{L \epsilon} \left(\frac{K_h}{K_w} \right) \frac{\partial T / \partial Z}{\partial e / \partial z} = \gamma \left(\frac{K_h}{K_w} \right) \frac{\Delta T}{\Delta e_a} \quad (3.2)$$

em que H e LE são os fluxos de calor sensível e latente, respectivamente; P_0 a pressão atmosférica (kPa); K_h e K_w são, respectivamente, os coeficientes de transferência nos processos de difusão turbulenta de calor sensível e latente, expressos em $m^2 \cdot s^{-1}$, e γ o fator psicrométrico ($kPa \cdot ^\circ C^{-1}$), obtido pela expressão:

$$\gamma = \frac{P c_p}{0,662 L} \quad (3.3)$$

em que $C_p = 0,24 \text{ cal g}^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$ representa o calor específico do ar à pressão constante, P a pressão atmosférica média à superfície (kPa) e L o calor latente de vaporização (cal.g^{-1}) obtido por (WRIGHT, 1982) como:

$$L = 595 - 0,51T_a \quad (3.4)$$

em que T_a é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$). Considerando-se a igualdade entre os coeficientes de transferência turbulenta de calor sensível (K_h) e calor latente (K_w) e $\left(\frac{\partial T/\partial z}{\partial e/\partial z}\right) \cong \frac{\Delta T}{\Delta e_a}$; sendo $\Delta T = T_2 - T_1$ e $\Delta e_a = e_2 - e_1$ as variações de temperatura do ar e pressão de vapor d'água na camada de ar acima da copa da árvore, respectivamente.

A equação 3.2 é então simplificada como:

$$\beta \approx \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e_a} \quad (3.5)$$

A pressão parcial de vapor d'água em dois níveis acima da copa da planta foi calculada pela equação de Ferrel, expressa da seguinte forma:

$$e(t_a) = e_s(t_u) - 0,00066(1 + 0,00115t_u)(t_a - t_u)\bar{P} \quad (3.6)$$

em que t_u e t_a são as temperatura dos bulbos úmido e seco, respectivamente, expressas em $^{\circ}\text{C}$, \bar{P} a pressão atmosférica média (kPa) e $e_s(t_u)$ é a pressão de saturação do vapor d'água (hPa), que foi calculada pela equação de Tetens, apresentada por Rosenberg et al. (1983), como:

$$e_s(t_u) = 6,1078 \exp\left(\frac{17,269t_u}{237,3 + t_u}\right) \quad (3.7)$$

Os valores de β passaram pela análise de consistência de dados conforme estabelecido por Unland et al. (1996). Tal procedimento ocorreu quando β aproximou-se de -1 o que resultaria em valores incorretos de LE.

O fluxo de calor latente (LE) é o calor utilizado na mudança de fase da H_2O na forma líquida para gasosa, utilizando a energia disponível à superfície. O LE foi obtido substituindo-se a razão de Bowen na equação 3.1.1, para obter:

$$LE = \frac{Rn - G}{1 + \beta} \quad (3.8)$$

3.5.3. Fluxo de calor sensível

O fluxo de calor sensível (H), que representa o fluxo destinado ao aquecimento ou resfriamento da superfície e do ar atmosférico, foi obtido como resíduo da Equação 3.11, ou seja:

$$H = R_n - LE - G \quad (3.9)$$

Todos os termos das equações acima já foram descritos anteriormente.

3.5.4. Fluxo de calor no solo

O fluxo de calor no solo (G) é a quantidade de energia armazenada no solo. Neste trabalho, foi determinado diretamente através da média dos dois fluxímetros posicionados um entre plantas e outro entre fileiras de plantas a 2,0 cm de profundidade do solo, obtido pela expressão:

$$G = \frac{G_1 + G_2}{2} \quad (3.10)$$

em que G_1 e G_2 e a medição de fluxo de calor no solo pelos fluxímetros, que se localizaram entre plantas e entre linhas, durante o período de medição:

3.6. Análise dos Dados

Os dados obtidos no experimento a cada 5 s e armazenadas as médias a cada 20 min, utilizados para determinar o balanço de energia calculado pelo método da razão de Bowen sobre a cultura da cana-de-açúcar, foram tabulados e processados utilizando-se o programa EXCEL.

As variações médias horárias e totais diárias dos componentes do balanço de energia durante o período de 01/06/2011 a 30/09/2011 que corresponderam às observações feitas nos estágios fenológico de desenvolvimento dos colmos e de maturação da cana-de-açúcar, foram determinadas para o período diurno quando o saldo de radiação foi positivo, sendo utilizado os dados entre 6 h e 20 min e 16 h e 20 min, procedimento também adotado por Borges et al. (2008), Andre et al. (2010), Silva et al. (2011).

A partir da descrição acima do ciclo diurno do estoque de energia, foi determinada a partição da radiação líquida (H/R_n , LE/R_n , e G/R_n) em relação a outros fluxos (H , LE e G), onde a radiação líquida é considerada uma forçante externa, enquanto os fluxos de calor sensível, latente e no solo são efeitos dessa forçante radioativa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Balanço de Energia Sobre a Cultura

A cultura da cana-de-açúcar estudada, Variedade RB92579, no seu terceiro ano de cultivo (3ª folha) apresentou um ciclo de 388 dias após o corte (DAC), sendo que no presente estudo foram utilizados dados de 122 dias, início de junho até o final de setembro. O período de crescimento, segundo Machado et al. (1982) se processa em três fases: na fase inicial de crescimento lento, na fase de crescimento rápido e na fase final de crescimento lento. Portanto os dados coletados foram na fase de crescimento rápido até a fase final.

As medições realizadas durante o período experimental possibilitaram uma caracterização do comportamento dos componentes do balanço de energia (R_n , LE , H , G) baseado na razão de Bowen, em bases horárias e totais diário como também a partição de energia, usada para evaporação da água (LE/R_n), para aquecimento do meio ambiente (H/R_n) e a energia usada para aquecimento do solo (G/R_n) nos meses de Junho a Setembro de 2011.

4.1.1. Evolução do Balanço de Energia em Base Horária

As variações médias horárias dos componentes do balanço de energia durante o período de junho a setembro de 2011 estão apresentadas nas Figuras 4.1 a 4.4 e na Tabela 4.1 e a variação média horária do período estudado na Figura 4.5. Embora o tipo de variação observada seja semelhante ao de outros trabalhos (Souza et al., 2008; Oliveira et al, 2009, Andre et al, 2010, Silva et al. 2011) realizados na região nordeste, constataram-se diferenças nas magnitudes desses componentes em consequência da variação espacial.

As densidades de fluxo de energia foram calculadas para o período diurno, ou seja, no período em que o saldo de radiação (R_n) foi positivo. Esse procedimento também foi adotado por Borges et al. (2008), André et al. (2010) e Silva et al. (2011).

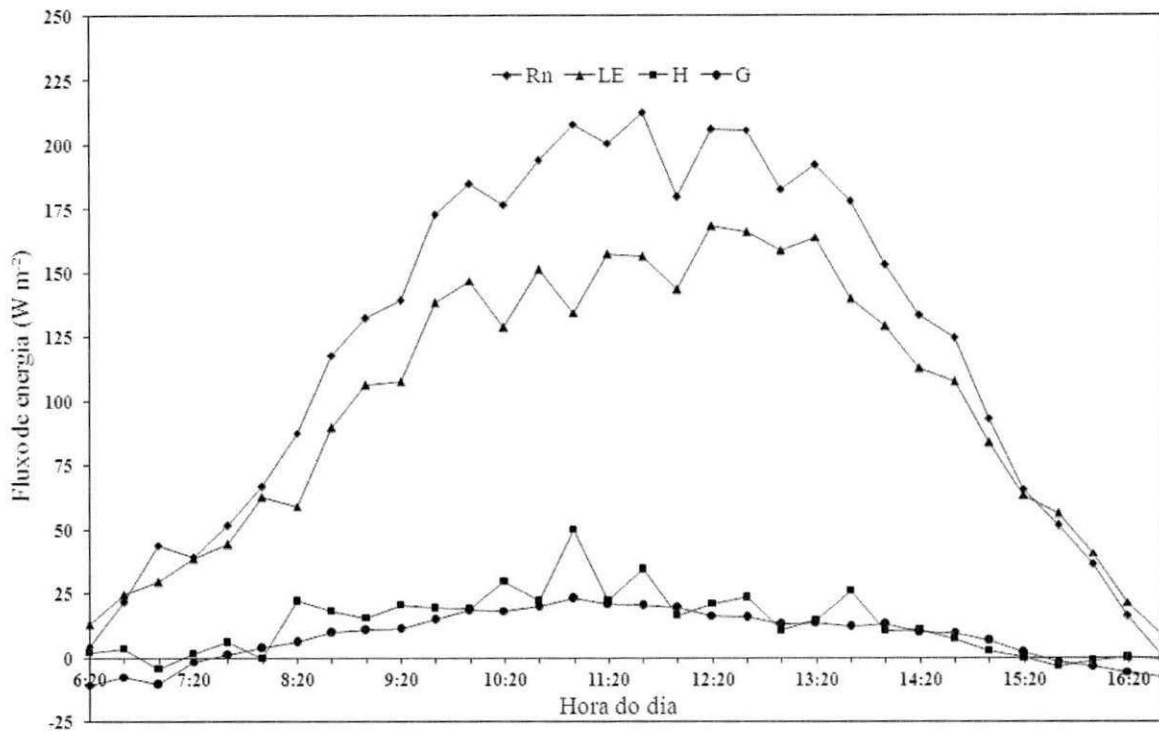


Figura 4.1 - Variação média horária dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar: saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o mês de junho de 2011

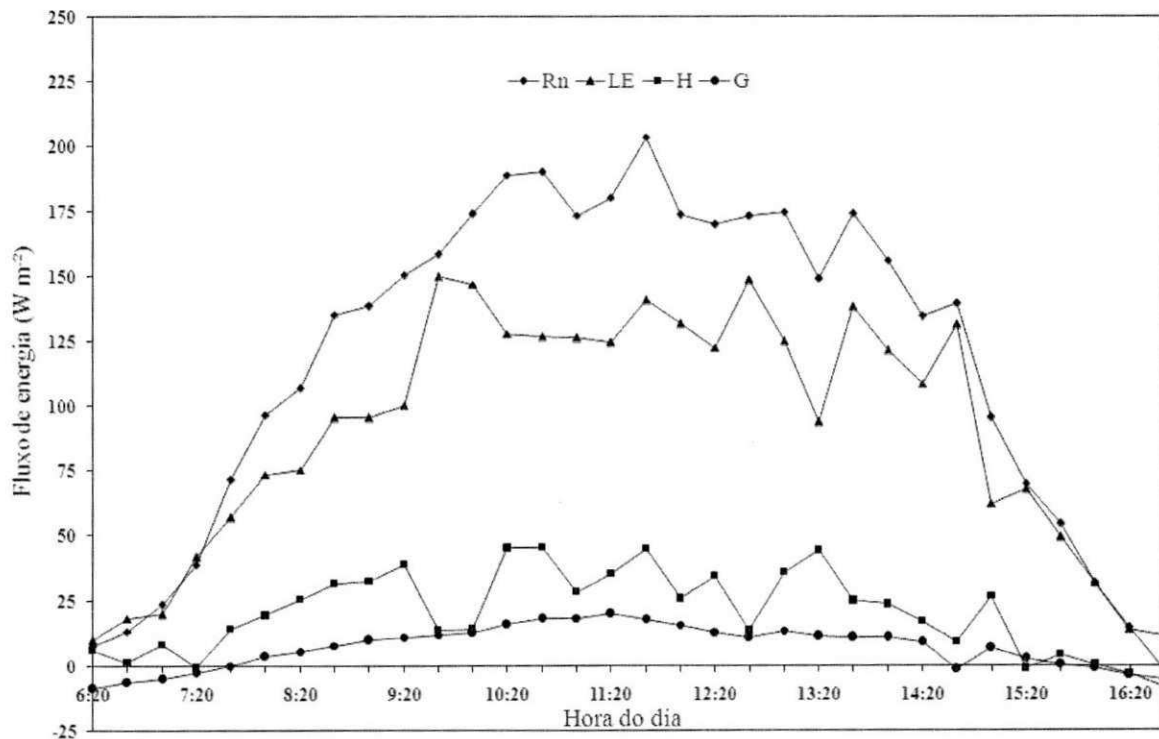


Figura 4.2 - Variação média horária dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar: saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o mês de julho de 2011

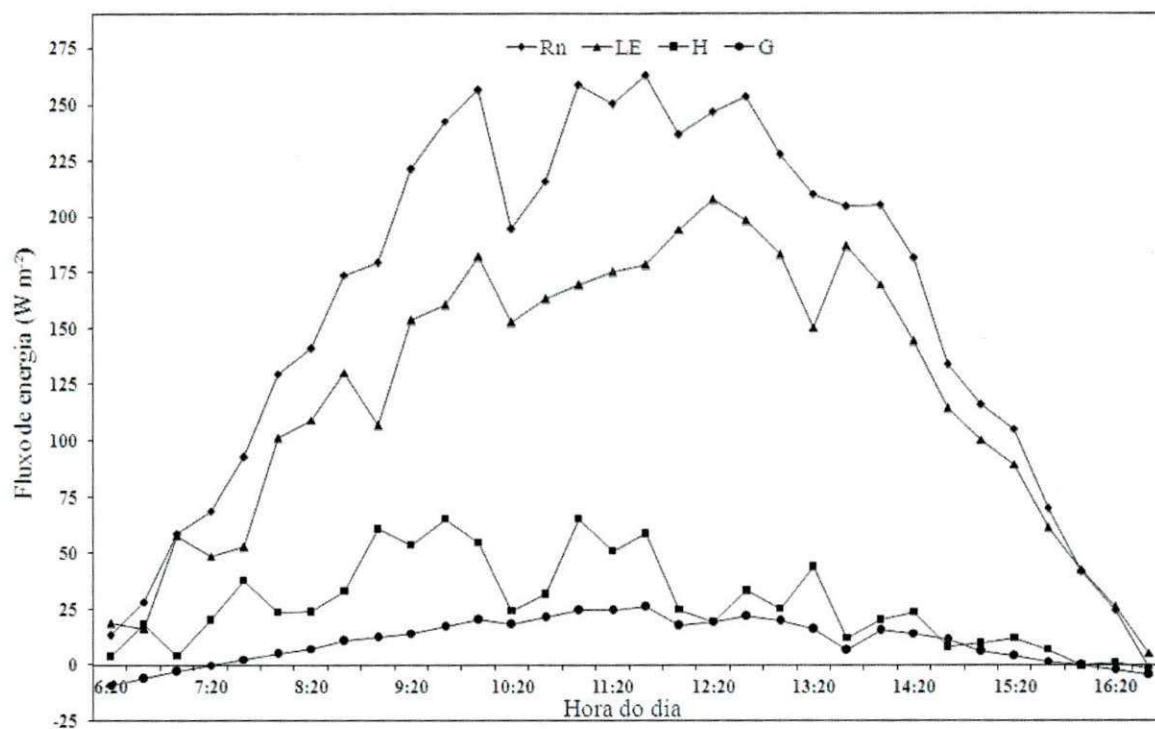


Figura 4.3 - Variação média horária dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar: saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o mês de agosto de 2011

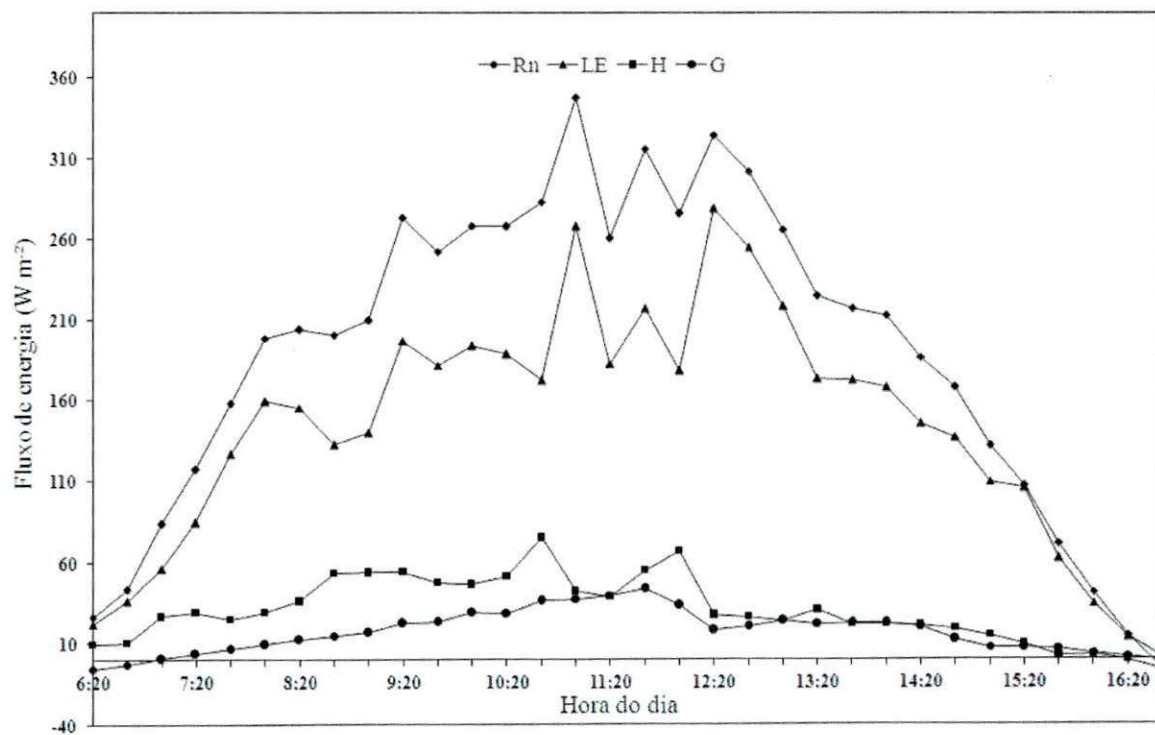


Figura 4.4 - Variação média horária dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar: saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o mês de setembro de 2011

Para Junho e Julho (período chuvoso) e Agosto e Setembro (período menos chuvoso), o fluxo de calor latente e sensível oscilaram mais, enquanto a distribuição do fluxo de calor no solo é mais uniforme, com pequenas variações; nota-se que as variações foram condicionadas pela variação de Rn; à medida que Rn aumentou ou diminuiu, os demais componentes do balanço de energia responderam em proporções similares, de modo que a partição final de energia não se alterou (Figuras 4.1 a 4.4).

Para um maior entendimento os resumos dos valores máximos e mínimos como também as médias mensais em bases horárias dos componentes do balanço de energia é apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Resumo dos componentes do balanço de energia; valores máximos; mínimos e médias mensais em base horária, durante o período experimental

Evolução Horária (Wm^{-2})			
Junho	Máximo	Mínimo	Média
Saldo de Radiação (Rn)	212,28/11h 40min	4,51/6h 20min	124,98
Fluxo de Calor Latente (Le)	168,41/12h 20min	12,97/6h 20min	101,50
Fluxo de Calor Sensível (H)	50,13/11h 00min	-4,32/7h 00min	13,64
Fluxo de Calor no Solo (G)	23,30/11h 00min	-10,60/6h 20min	8,80
Julho	Máximo	Mínimo	Média
Saldo de Radiação (Rn)	203,38/11h 40min	7,84/6h 20min	121,34
Fluxo de Calor Latente (Le)	150,10/9h 40min	10,23/6h 20min	92,79
Fluxo de Calor Sensível (H)	45,15/10h 40min	-3,10/7h 20min	21,34
Fluxo de Calor no Solo (G)	20,24/11h 20min	-8,58/6h 20min	7,54
Agosto	Máximo	Mínimo	Média
Saldo de Radiação (Rn)	262,58/11h 40min	13,33/6h 20min	162,53
Fluxo de Calor Latente (Le)	207,66/12h 20min	16,13/6h 40min	123,85
Fluxo de Calor Sensível (H)	65,07/11h 00min	-0,42/16h 00min	27,87
Fluxo de Calor no Solo (G)	26,07/11h 40min	-9,07/6h 20min	10,81
Setembro	Máximo	Mínimo	Média
Saldo de Radiação (Rn)	347,54/11h 00min	14,70/16h 20min	196,37
Fluxo de Calor Latente (Le)	279,21/12h 20min	13,49/16h 20min	147,32
Fluxo de Calor Sensível (H)	74,86/10h 40min	-0,44/16h 20min	31,33
Fluxo de Calor no Solo (G)	43,53/11h 40min	-5,51/6h 20min	17,30

Analisando a cada mês as variações médias horárias desses componentes em termos de valores máximos e mínimos, (Tabela 4.1) verificou-se que o saldo de radiação atingiu um máximo de $347,54 \text{ W m}^{-2}$ em setembro (estação menos chuvosa) e um mínimo de $4,51 \text{ W m}^{-2}$ em junho (estação chuvosa). O fluxo de calor latente apresentou a mesma tendência de variação do saldo de radiação sendo em menor proporção, chegando a valores máximos de $279,21 \text{ W m}^{-2}$ em setembro e um mínimo de $10,23 \text{ W m}^{-2}$ em julho (estação chuvosa), já os fluxos de calor sensível e do solo tiveram pequenas variações, apresentaram valores bem pequenos, com máximo de $74,86$ e $43,56 \text{ W m}^{-2}$ em setembro e um mínimo de $-4,32$ e $-10,60 \text{ W m}^{-2}$ em junho respectivamente. Pereira (2001) em pesquisa realizada em um ecossistema florestal verificou que a variação das magnitudes dos componentes do balanço de energia baseada em valores médios horários das 9 às 15 horas, nas estações seca e chuvosa, foi bem caracterizada; a energia utilizada no processo de evapotranspiração foi, em média, mais do que o dobro da energia consumida sob a forma de calor sensível, resultados que se assemelham aos obtidos nesse trabalho.

Os máximos valores do saldo de radiação e fluxos ocorreram entre às 9 h/40 min e 12h/ 20min. No período da tarde aumenta a nebulosidade, ocasionando queda na radiação solar incidente entre 14 h/00 min e o fim do dia; essa defasagem no horário médio de ocorrência de máxima intensidade de radiação solar pode estar associada a uma maior quantidade de nebulosidade do período que também foi característico de intensas chuvas. Já os valores mínimos dos componentes do balanço de energia ocorreram no início do dia e no final da tarde entre 6 h/20 min às 7 h/20 min e 16 h/00 min às 16h/20 min para os meses estudados, onde o saldo de radiação já se apresentava com valores positivos. O valor médio do balanço de energia, R_n variou de $196,37 \text{ W}$ a $121,34 \text{ W m}^{-2}$, o LE variou de $147,32$ a $92,79 \text{ Wm}^{-2}$ nos referidos meses. Já os fluxos H e G com menor valores variaram de $31,33$ a $13,64 \text{ Wm}^{-2}$ e de $17,30$ a $7,54 \text{ Wm}^{-2}$ respectivamente (Tabela 4.1).

Ao analisar a variação geral dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar em bases horárias nos quatro meses de estudo, verifica-se que ocorreram grandes variações no R_n e Le , já o H e G não ocorreram grandes variações nos componentes do balanço de energia, destacando-se a importância da nebulosidade e precipitação na variação média horária na região (Figura 4.5).

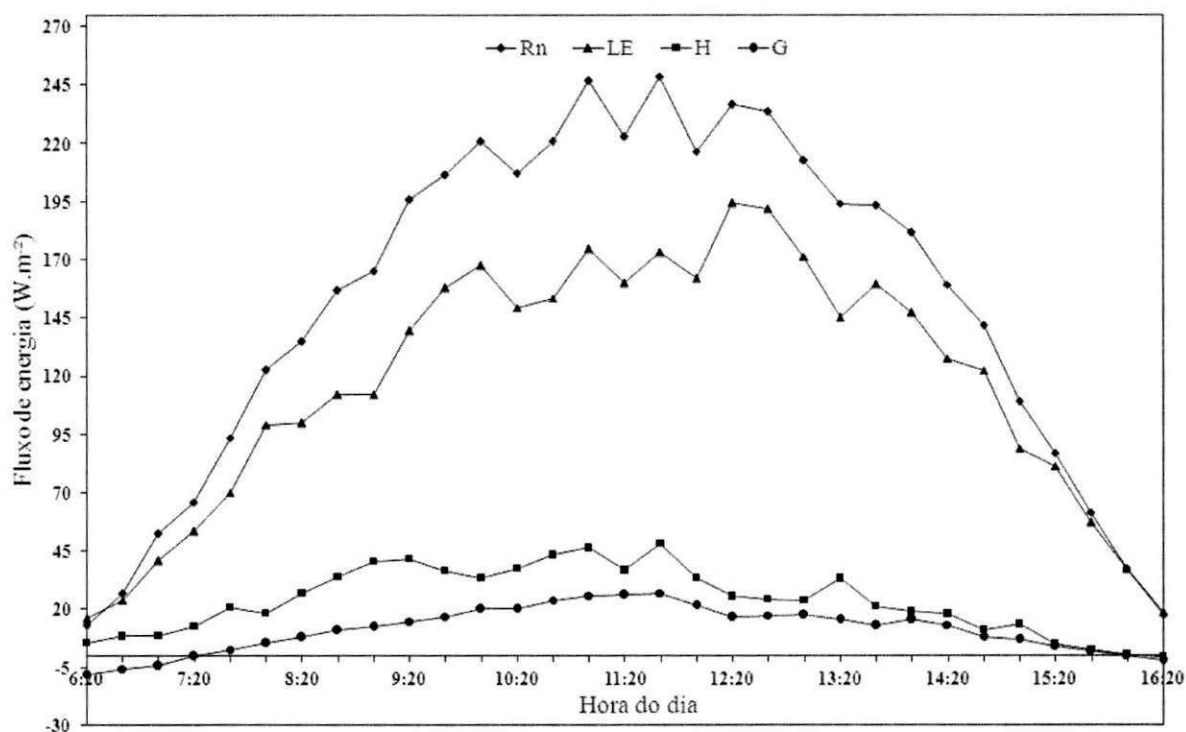


Figura 4.5 - Variação média horária dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar: saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o período estudado de junho a setembro de 2011.

Considerando valores médios dos componentes do balanço de energia para todo período, Rn variou de $248,45 \text{ W m}^{-2}$ a $12,98 \text{ W m}^{-2}$ com média de $151,06 \text{ W m}^{-2}$, o LE variou de $194,45 \text{ W m}^{-2}$ a $15,97 \text{ W m}^{-2}$ com média de $116,36 \text{ W m}^{-2}$ nos referidos meses. Já o fluxo H e G com menor valores variaram de $48,12$ a $-0,66 \text{ W m}^{-2}$ com média de $23,55 \text{ W m}^{-2}$ e $27,30$ a $-4,38 \text{ W m}^{-2}$ com média de $11,11 \text{ W m}^{-2}$ respectivamente (Figura 4.5). Estes resultados concordam com os obtidos em vários trabalhos com balanço de energia em culturas anuais e perenes, que concluíram que a maior porção do saldo de radiação é transformada em fluxo de calor latente (Cunha et al., 1996; Teixeira, 2001; Souza et al., 2008; Oliveira et al., 2009, Andre et al., 2010, Silva et al., 2011).

Cabral et al. (2003), em mesmas condições (período chuvoso) analisando fluxos turbulentos em cana-de-açúcar em Sertãozinho – SP, também encontraram que o maior valor dos fluxos é encontrado no período que compreende o meio dia e que a maior parte do Rn é utilizado como fluxo de calor latente. O excesso de umidade, tanto no solo como no dossel da cana-de-açúcar, durante o período estudado, contribuiu, desta forma, para os elevados valores de LE, uma vez que a energia ao incidir sobre a superfície era utilizada primeiramente para a evaporação e transpiração da planta, posteriormente, em menor quantidade, para os processos de aquecimento do ar (H) e do solo (G).

4.1.2. Totais diurnos dos Componentes do Balanço de Energia

A variação média dos totais diários do saldo de radiação, fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível e fluxo de calor no solo, considerando-se os meses do estudo, está ilustrada nas Figuras de 4.6 a 4.9 e na Tabela 4.2, e o total diário do período estudado Figura 4.10. O saldo de radiação apresentou grande oscilação durante os meses estudados. As magnitudes dos fluxos médios diários de calor latente, sensível e do solo acompanharam aproximadamente essa tendência.

Para todos os meses, pode-se perceber que o fluxo de calor latente apresentou grande variação durante os dias, representando a maior parcela do saldo de radiação. Já o fluxo de calor sensível apresenta pequenas variações com valores muito baixos, como também o fluxo de calor no solo com pequenas oscilações durante os dias (Figura 4.6 a 4.9). Como já foi dito anteriormente, o excesso de umidade, tanto no solo como no dossel da cana-de-açúcar, durante o período estudado, contribuiu, desta forma, para os elevados valores de LE, uma vez que a energia ao incidir sobre a superfície era utilizada primeiramente para a evaporação da água e transpiração da planta e posteriormente, em menor quantidade, para os processos de aquecimento do ar (H) e do solo (G).

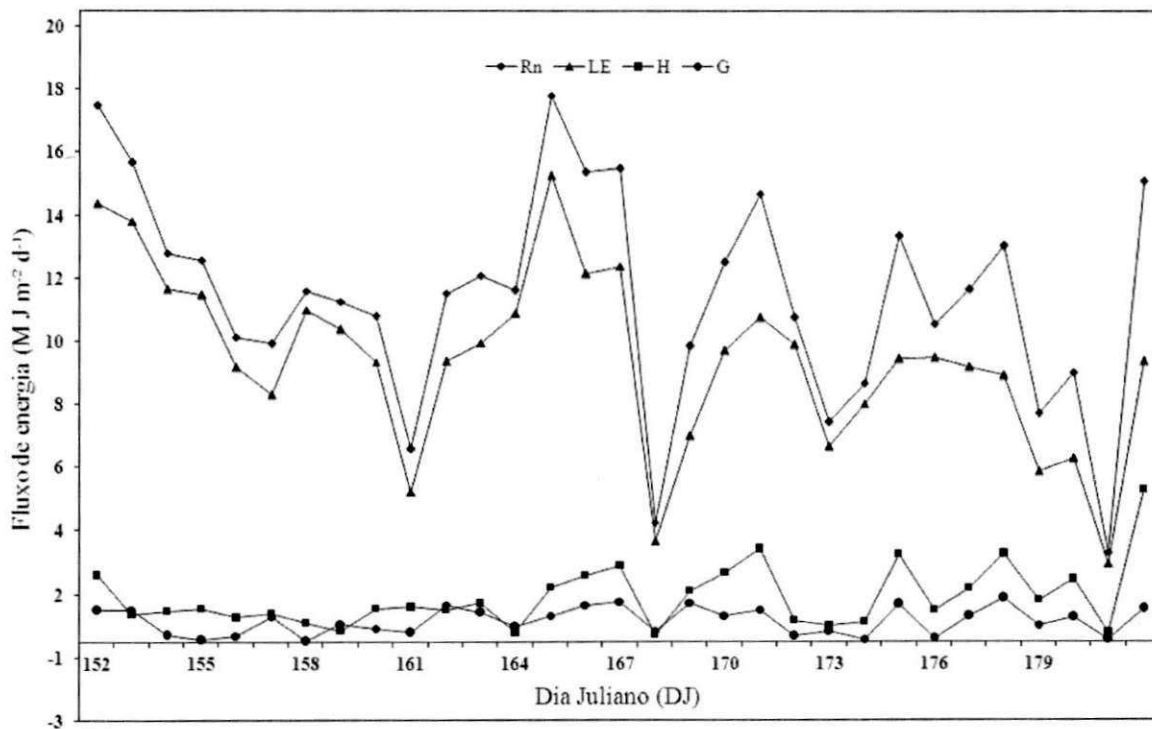


Figura 4.6 - Totais diários dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar: saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o mês de Junho de 2011

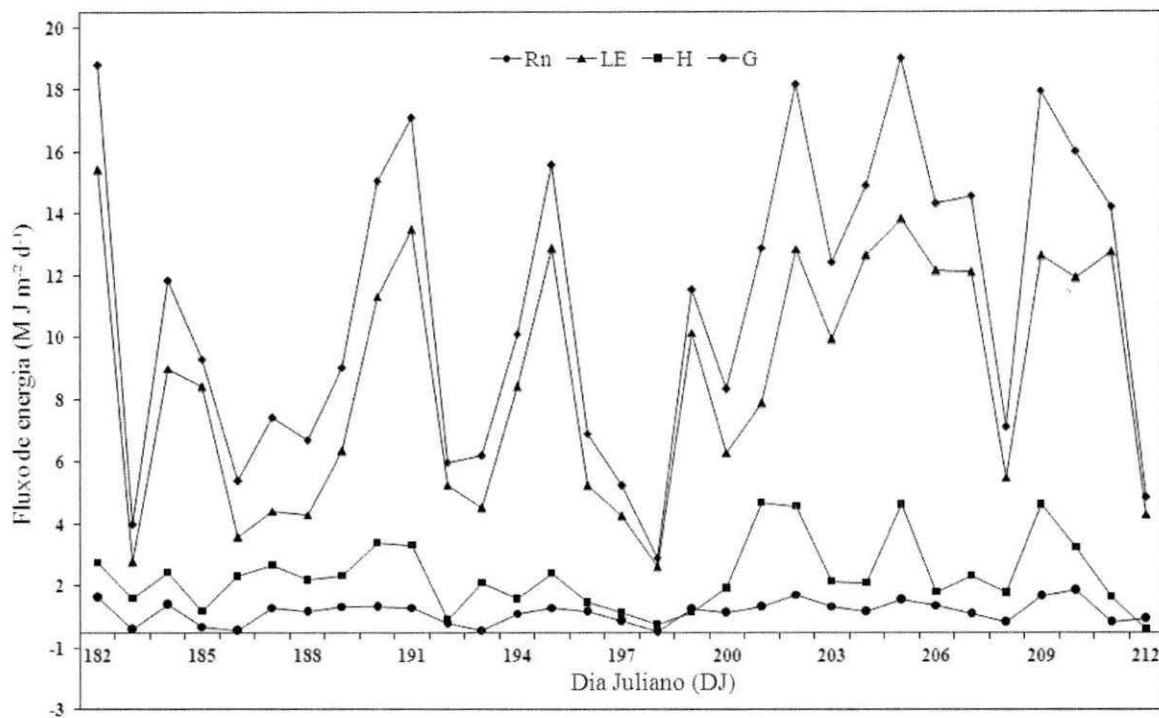


Figura 4.7 - Totais diários dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar: saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o mês de Julho de 2011

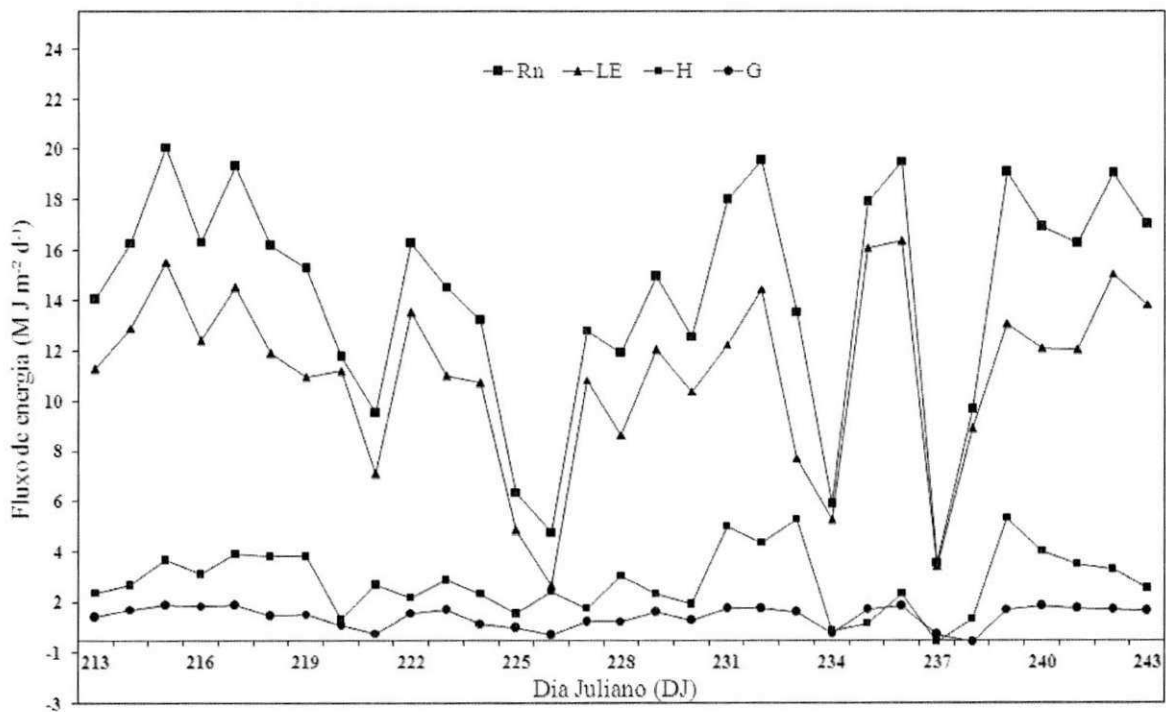


Figura 4.8 - Totais diários dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar: saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o mês de Agosto de 2011

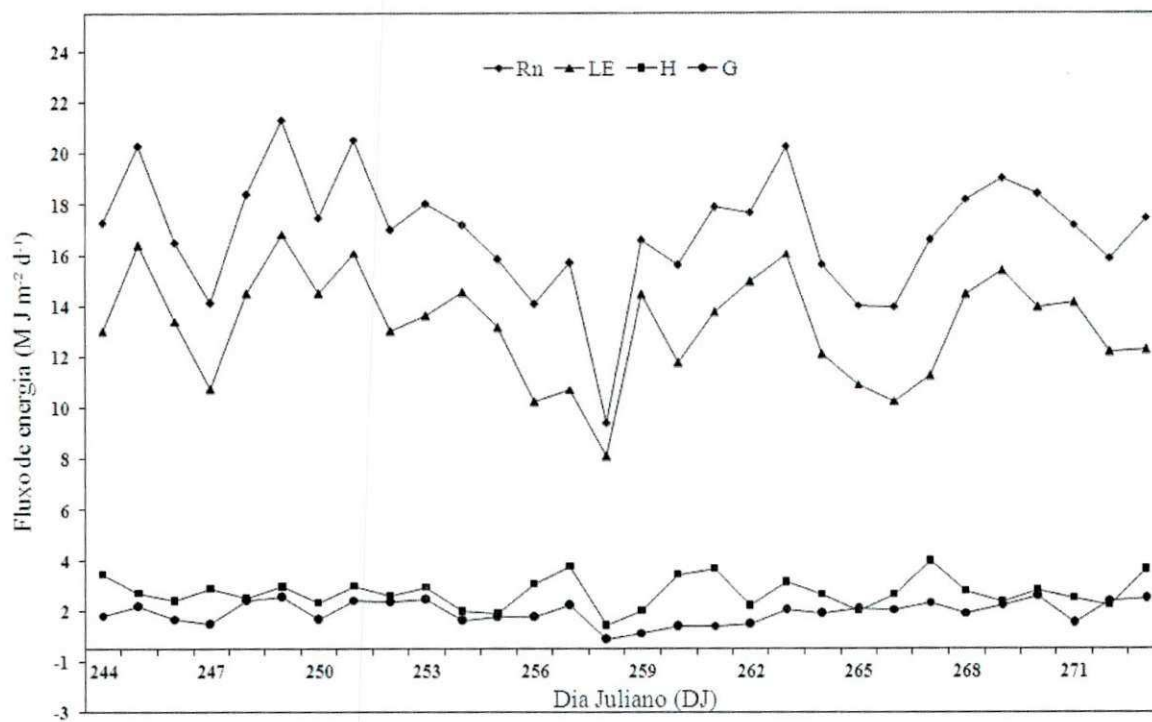


Figura 4.9- Totais diários dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar: saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o mês de Setembro de 2011

Os valores máximo, mínimos e médios mensais para os principais componentes da equação do balanço de energia de todo o período estudado são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Resumo dos valores máximos, mínimo e média dos totais diários dos componentes do balanço de energia, durante o período experimental

Total diurno (MJ m⁻² dia⁻¹)			
Junho	Maximo	Mínimo	Média/Mês
Saldo de Radiação (Rn)	17,30 / DJ 164	2,78 / DJ 180	10,73
Fluxo de Calor Latente (Le)	14,76 / DJ 164	2,44 / DJ 180	8,74
Fluxo de Calor Sensível (H)	4,77 / DJ 181	0,22 / DJ 167	1,38
Fluxo de Calor no Solo (G)	1,38 / DJ 177	0,01 / DJ 175	0,64
Julho	Maximo	Mínimo	Média/Mês
Saldo de Radiação (Rn)	18,51 / DJ 205	2,39 / DJ 198	10,58
Fluxo de Calor Latente (Le)	14,92 / DJ 192	2,11 / DJ 198	8,12
Fluxo de Calor Sensível (H)	4,18 / DJ 201	0,11 / DJ 212	1,38
Fluxo de Calor no Solo (G)	1,36 / DJ 210	0,03 / DJ 198	0,65
Agosto	Maximo	Mínimo	Média/Mês
Saldo de Radiação (Rn)	19,58 / DJ 215	3,04 / DJ 237	13,78
Fluxo de Calor Latente (Le)	15,85 / DJ 236	2,13 / DJ 226	10,56
Fluxo de Calor Sensível (H)	4,81 / DJ 239	-0,06 / DJ 237	2,30
Fluxo de Calor no Solo (G)	1,39 / DJ 215	-0,08 / DJ 238	0,92
Setembro	Maximo	Mínimo	Média/Mês
Saldo de Radiação (Rn)	20,84 / DJ 249	8,93 / DJ 258	16,41
Fluxo de Calor Latente (Le)	16,34 / DJ 249	7,61 / DJ 258	12,73
Fluxo de Calor Sensível (H)	3,48 / DJ 267	0,93 / DJ 258	2,24
Fluxo de Calor no Solo (G)	2,10 / DJ 270	0,38 / DJ 258	1,45

DJ corresponde ao dia do ano

O período de junho a julho (período chuvoso) DJ 152 a DJ 212, o saldo de radiação variou entre 2,39 a 18,51 MJ m⁻² com média de 10,66 MJ m⁻², o LE esteve na faixa de 2,1 a 14,92 MJ m⁻² com média de 8,47 MJ m⁻², o H compreendeu entre 0,11 a 4,77 MJ m⁻² com média de 1,6 MJ m⁻², e G variou entre 0,01 e 1,38 MJ m⁻² com média de 0,65 MJ m⁻² para os meses estudados. Já no período de agosto a setembro (período menos chuvoso), DJ 213 a DJ 273, o saldo de radiação variou de 3,04 a 20,84 MJ m⁻² com média de 15,09 MJ m⁻², o LE esteve na faixa de 2,13 a 16,34 MJ m⁻² com média de 11,65 MJ m⁻², o H variou entre -0,06 a 4,81 MJ m⁻² com média de 2,27 MJ m⁻² e o G oscilando entre -0,08 a 2,10 MJ m⁻² com média de 1,18 MJ m⁻². Observando as médias dos referidos meses nota-se um aumento do saldo de radiação e dos fluxos de calor latente, sensível e do solo, esse aumento se torna característico das mudanças climáticas ocorridas nesse período (Tabela 4.2).

Analisando os dados de todo o período estudado, constatou-se que o saldo de radiação variou entre 2,39 a 20,84 MJ m⁻² com média de 12,87 MJ m⁻², o LE esteve na faixa de 2,13 a 16,34 MJ m⁻² com média de 10,04 MJ m⁻², o H compreendeu entre -0,06 a 4,81 MJ m⁻² com média de 1,94 MJ m⁻², e G variou entre -0,08 a 2,10 MJ m⁻² com média de 0,92 MJ m⁻² para o período estudado (Figura 4.10).

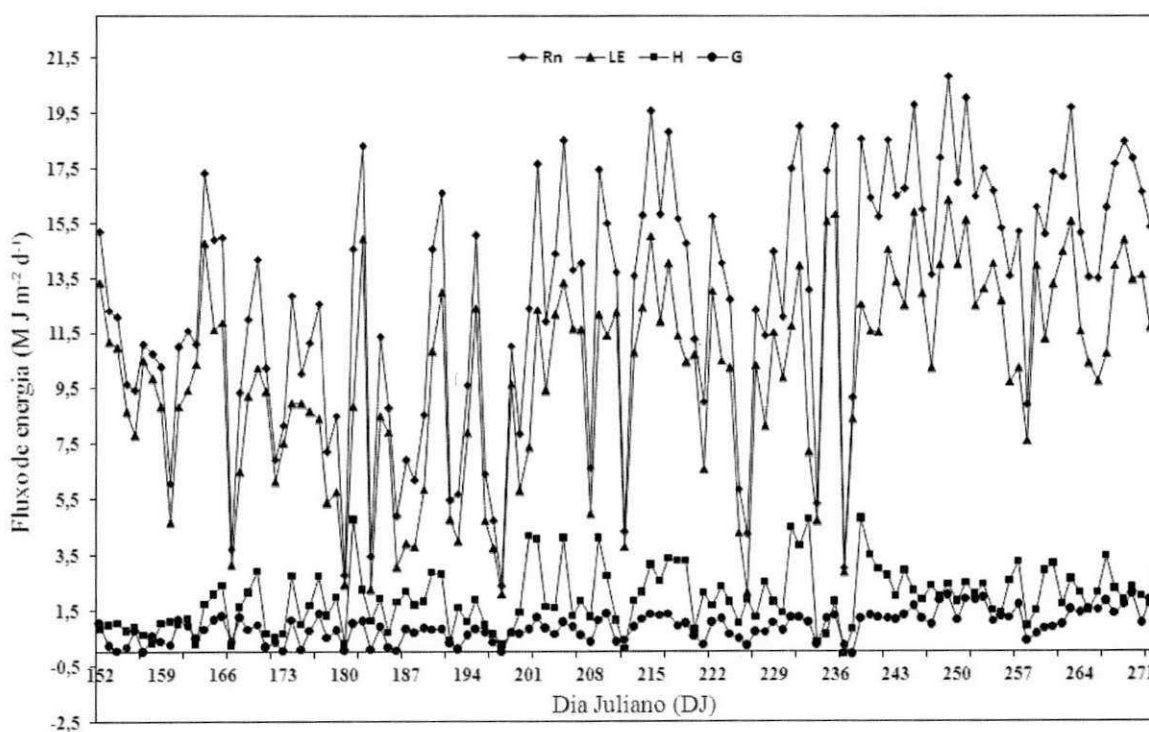


Figura 4.10. Variação média dos totais diários dos componentes do balanço de energia sobre a cana-de-açúcar: saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) para o período estudado de junho a setembro de 2011

Dessa maneira, verifica-se que, em canaviais, quando a cultura dispõe de umidade suficiente tanto no solo como no dossel, a maior quantidade do saldo de radiação é utilizada na evapotranspiração, na forma de calor latente, e em menor quantidade são emitidos pelos fluxos de calor sensível e calor do solo, mostrando que essa diferença se deve da alta variação na nebulosidade e precipitações ocorridas durante a pesquisa em campo. Estes resultados concordam com os obtidos em vários trabalhos com balanço de energia em culturas anuais e perenes, que concluíram que a maior porção do saldo de radiação é transformada em fluxo de calor latente (Cunha et al., 1994; Teixeira, 2001; Souza et al., 2008; Oliveira et al., 2009, Andre et al., 2010; Silva et al., 2011).

Também utilizando o método da razão de Bowen, Heilman et al. (1994) realizaram o balanço de energia na cultura da videira, em Lamesa -TX. O saldo de radiação variou de 12,5 a 18,9 MJ m⁻² d⁻¹. Sob condições de instabilidade acima das plantas, a partição desse saldo foi de 17-28% para fluxo de calor sensível (H), 11-29% para fluxo de calor no solo (G) e entre 46 e 61% para fluxo de calor latente (LE). Já André et al. (2010) estudando os aspectos energéticos do desenvolvimento da cana-de-açúcar, obteve saldo de radiação que variou de 10,9 a 17,26 MJ m⁻² d⁻¹ sendo a maior parte utilizada pelo fluxo de calor latente que variou de 79% no início do perfilhamento a 99% no final da maturação.

4.1.3. Partição do saldo de radiação entre os componentes do balanço de energia

A variação da partição dos componentes do balanço de energia, expressa pela fração do saldo de radiação consumida em calor latente, calor sensível e calor no solo, está apresentada na Figura 4.11 e Tabela 4.3. Esses resultados representam valores médios mensais durante o período diurno das 6 h 20 min às 16 h 20 min.

Na figura 4.11 está apresentado o comportamento da partição da radiação líquida (H/R_n , LE/R_n , e G/R_n) em relação aos fluxos (LE, H e G), para os meses que compreenderam a pesquisa. Pode-se verificar que o fluxo de calor latente correspondeu à maior partição, observa-se ainda que nos meses de junho a julho há um decréscimo se mantendo estável até o mês de agosto, para posteriormente ocorrer um pequeno acréscimo em setembro. Já os fluxos de calor sensível e do solo apresentaram valores muito baixos da partição da radiação líquida, proporcionando também pequenas oscilações durante os meses. A partição de H/R_n , durante os meses, apresentaram um acréscimo de junho a julho e posteriormente um decréscimo nos meses de agosto e setembro. Já G/R_n apresentou um

acrécimo de junho a setembro. O decréscimo e acréscimo ocorridos nos referidos meses, não proporcionam grandes diferenças em comparação individual das partições da radiação líquida, isso pode estar associado ao período que compreendeu a pesquisa. Essa ordem de grandeza, com predominância de Rn para LE, seguido de H e G, tem sido padrão observado nas determinações do balanço de energia, que empregam o uso da razão de Bowen em culturas agrícolas como observaram Heilman et al. (1994) em videira, Souza (2003) em cultura de abacaxi, Silva et al. (2006) em mangueira, Andre et al., (2010) em cana-de-açúcar.

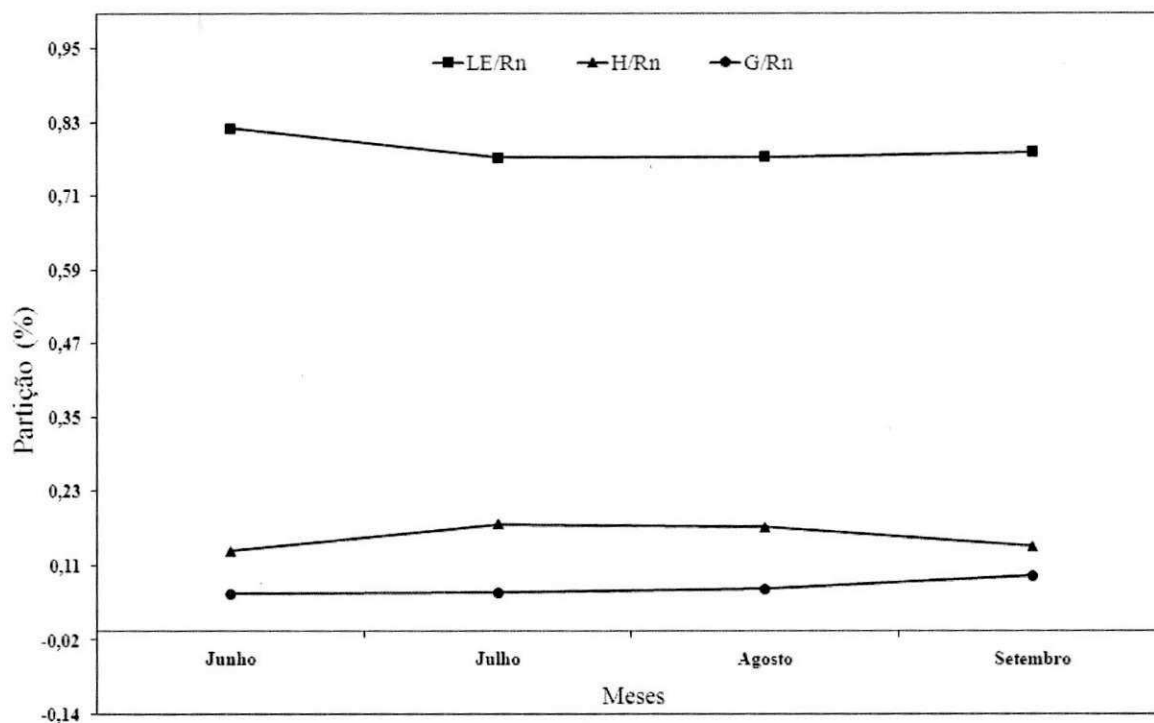


Figura 4.11. Partição do saldo de radiação (Rn) em fluxo de calor latente (LE/Rn), fluxo de calor sensível do ar (H/Rn) e fluxo de calor no solo (G/Rn) para os meses de Junho a Setembro de 2011

Tabela 4.3. Valores médios dos componentes do balanço de energia (Rn, LE, H, G) e da partição do saldo de radiação (Rn) em fluxo de calor latente (LE/Rn), fluxo de calor sensível do ar (H/Rn), fluxo de calor no solo (G/Rn) para os meses de Junho a Setembro de 2011

Meses	Rn	LE	H	G	LE/Rn	H/Rn	G/Rn
	MJ m ⁻²				%		
Junho	10,73	8,74	1,38	0,64	81,49	12,90	5,95
Julho	10,58	8,12	1,81	0,65	76,69	17,15	6,18
Agosto	13,76	10,56	2,31	0,92	76,78	16,76	6,69
Setembro	16,41	12,73	2,24	1,45	77,55	13,63	8,82
Média	12,87	10,04	1,93	0,92	78,13	15,10	6,91
Desvio-padrão	2,78	2,07	0,43	0,38	2,27	2,14	1,31

O percentual do saldo de radiação utilizado como calor latente variou de 81,49% em junho a 76,69% em setembro. A participação do fluxo de calor sensível no saldo radiação variou de 12,90% em junho ao valor máximo de 17,15% em julho. Já a partição do fluxo de calor no solo variou de 5,95% em junho ao valor máximo de 8,82% em setembro. Conforme as razões de partição do saldo de radiação para os fluxos de calor latente, calor sensível e calor no solo (Tabela 4.3), constatou-se, que em média, R_n foi consumido em 78,13% para o fluxo de calor latente, 15,10% para o fluxo de calor sensível e 6,91% para o fluxo de calor no solo, considerando todos os meses estudados. André et al. (2010) estudando o balanço de energia para a região de Campos dos Goytacazes encontraram valores superiores para os dias analisados durante a fase de desenvolvimento dos colmos, o consumo de 86% do R_n pelo LE, em cultivo que não sofreu estresse hídrico.

Teixeira et al. (1997), avaliando os componentes do balanço de energia ao longo dos estádios de desenvolvimento de um cultivo de videira, em Petrolina-PE, utilizando-se da razão de Bowen obtiveram resultados que se assemelham em parte aos dessa pesquisa, verificando que, em média, a maior porção do saldo de radiação disponível para o cultivo foi utilizada para o fluxo de calor latente, 82%, seguido do fluxo de calor sensível, 13%, e do fluxo de calor no solo, 5%. Observaram, também, que a prática de irrigação interfere nas trocas entre a comunidade vegetal e a atmosfera circundante, aumentando a relação LE/ R_n e diminuindo H/ R_n . Já Silva et al. (2006) obtiveram resultados semelhantes aos dessa pesquisa na determinação das necessidades hídricas da mangueira irrigada na região semi-árida do rio São Francisco, nos anos de 1998 e 1999, utilizando a razão de Bowen, obtendo partição do saldo de radiação de 77,68% para o fluxo de calor latente (LE), 18,01% para o fluxo de calor sensível (H) e 4,36% para o fluxo de calor no solo (G).

Dessa maneira, pode-se afirmar que a variação da partição do saldo de radiação foi condicionada pelo período em que se desenvolveu a pesquisa, período esse que se caracterizou com grande variação na nebulosidade e chuvas intensas. Observa-se ainda que quando há grandes disponibilidades desses elemento climáticos o fluxo de calor latente utiliza a maior parcela do saldo de radiação e em menores proporções o fluxo de calor sensível seguido do fluxo de calor no solo.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados neste trabalho e das discussões levantadas, referentes à análise da variação do saldo de radiação e dos fluxos de energia (LE, H e G), na cana-de-açúcar em base horária e totais diários, como também a partição, chegou-se às seguintes conclusões.

1. Os valores máximos dos fluxos ocorrem entre às 9 h/40 min e 12 h/20 min. Já os valores mínimos ocorreram no início do período diurno (entre 6 h/20 min e 7 h/20 min) e no final da tarde (entre 16 h/00 min e 16 h/20 min).
2. Ocorreram grandes variações no Rn e Le, já os H e G não ocorreram variações acentuadas nos componentes do balanço de energia, durante a estação mais chuvosa (junho e julho) e menos chuvosa (agosto e setembro), quando comparadas às médias horárias dos respectivos meses.
3. O máximo valor do saldo de radiação ocorre durante a estação menos chuvosa (agosto e setembro), correspondente aos dias Juliano (DJ 213 a DJ 273). Observa-se ainda que o fluxo de calor latente (LE) e o saldo de radiação (Rn) apresentam tendência de variação semelhante, além do fluxo de calor latente ser também responsável pelo maior consumo do saldo de radiação.
4. Em virtude das condições de nebulosidade constante, porém com grande oscilação durante o período diurno e precipitação que proporcionaram grandes acúmulos de água sobre o dossel da cultura e no solo, foi constatado que, em média, 78,13%, 15,10% e 6,91% da energia disponível foi consumida como fluxos de calor latente (evapotranspiração) e sensível (aquecimento do ar) e fluxo de calor no solo (aquecimento do solo), respectivamente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C.S.A.; SOUZA, J.L.; TEODORO, I. BARBOSA, G.V.S.; FILHO, G.M.; JUNIOR, R.A.F. (2008) Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência agrotecnica, Lavras**, v. 32, n. 5, p. 1441-1448.

ANDRÉ, R.G.B; MENDONÇA, J.C.; PINHEIRO, F.M.A.; MARQUES, V. S. MARQUES, J. (2010) Aspectos Energéticos do Desenvolvimento da cana-de-açúcar Parte 1: Balanço de radiação e Parâmetros Derivados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.3, p.375-382.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998) Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements. Rome: FAO. 301p. **FAO Irrigation and Drainage Paper 56**.

ARYA, S. P.; Introduction to Micrometeorology. Ed. **Academic press**, 2a Ed., 2001.

AYODE, J. O.; Introduction of climatology for the tropics. **Bertrand Brasil**, 5ª Ed. 332p. 1998.

AZEVEDO, P.V.; SOUZA, C.B.; SILVA, B.B.; SILVA, V. DE P.R. (2007) Water requirements of pineapple crop grown in a tropical environment, Brazil. **Agricultural Water Management**, v.88, n.1-3, p.201-208.

BISWAS, B.C. Agroclimatology of the sugar-cane crop. Switzerland, 1998, 90p. (World Meteorological Organization, technical note no. 193).

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

BARBIERI, V.; BACCHI, O.O.S.; VILLA NOVA, N.A. Análise do fator temperatura média do ar no desenvolvimento da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1., Mossoró, **Anais**. Mossoró, p. 192-7, 1979.

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

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

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

CABRAL, O.M.L.; ROCHA, H.R.; LIGO, M.A.V.; BRUNINI, O.; DIAS, M.A.F.S. Fluxos turbulentos de calor sensível, vapor de água e CO₂, sobre plantação de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) em Sertãozinho-SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 18, n. 1, p. 61-70, 2003.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Safras. Capturado em 22 de agosto de 2012. On line. Disponível em http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/1cana_de_acucar.pdf.

CUNHA, G.R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.A. Balanço de energia em cultura de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p.1 - 14, 1996.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

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

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

HEILMAN, J.L.; BRITTIN, C.L. Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.4, n.1, p.261 - 263, 1989.

HEILMAN, J.L.; MCLNNES, K.J.; SAVAGE, M.J.; GESH, R.W.; LASCANO, R.J. Soil and canopy energy balance in a west Texas vineyard. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.71, p.99 - 114, 1994.

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

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

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

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

LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; SOARES, W.A.; BORGES, E.; SILVA, I.F.; LIRA, C.A.B.O. (2005) Balanço de energia em um solo cultivado com feijão caupi no brejo paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.527-534.

LOPES, P. M. O.; SILVA, B. B. da; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, V. P. R.; TEIXEIRA, A. H. C.; SOARES, J. M.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Balanço de energia num pomar de mangueira irrigada. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2001.

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

MACHADO, E.C.; PEREIRA, A.R.; FAHL, J.I.; ARRUDA, H.V.; CIONE, J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, n.9, p.1323-1329, 1982.

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

MEYERS, T. P. A comparison of summertime water and CO₂ fluxes over rangeland for well watered and drought conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.106, p.205– 14, 2001.

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

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

NETAFIN. Climate. Disponível em: <<http://www.sugarcane-crop.com/climate/>>. Acessado em 12/02/2012.

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

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

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

NUNES Jr., D.; PINTO, R. S. A.; KIL, R. A. Indicadores de desempenho da agroindústria canavieira: safra 2002/2003, ed. **Grupo IDEA**, 2003, 95p.

OLIVEIRA, I.A.; LIMA, J.R.S.; SILVA, I.F.; ANTONINO, A.C.D.; NETO, G.C.G.; LIRA, C.A.B.O. (2009) Balanço de energia em mamona cultivada em condições de sequeiro no Brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** v.4, n.2, p.185-191.

OHMURA, A. Objective criteria for rejecting data for Bowen ratio flux calculations. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 21, p. 595-598, 1982.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C.; Agrometeorologia: fundamentos e aplicações. Guaíba: Agropecuária, 478p. 2002.

PEREIRA, M. G. P. Balanço de Radiação e Energia em um Ecossistema de Floresta Tropical na Amazônia Central. 2001. 61p. **Tese** (Magister Scientiae). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa- MG, 2001.

PEREZ, P.J.; CASTELLVI, F.; IBAÑEZ, M.; ROSELL, J.I. (1999) Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.97, p.141-150.

ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. Amazonian deforestation and climate. 1ª ed. Chicester-UK: **John Wiley and Sons**, 1996. p. 1-14.

ROBINSON, N.; Solar radiation. Elsevier Publication Co., Amsterdam, 347 p. 1966.

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

ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. Microclimate: the biological environment. 2º., ed. Boston: **Awiley- Interscience**, 495p. 1983.

RIDESA. Programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar: variedades RB, **relatório anual**. UFRPE/EECA, 2003, 256p.

SAN JOSÉ, J.J.; BRACHO, R.; MONTES, R.; NIKONOVA, N. (2003) Comparative energy exchange from cowpeas (*Vigna unguiculata* (L) Walp) cvs. TC-9-6 and M-28-6-6) with differences in canopy architectures and growth durations at the Orinoco llanos. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.116, n.3-4, p.197-219.

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

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO - PB e UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA. **Atlas Geográfico do Estado da Paraíba**. João Pessoa, p. 99, 1985.

SEMARH – Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais, Mapeamento de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, 2004.

SILVA, B.K.N; SILVA, V.P.R; AZEVEDO, P.V; FARIAS, C. H.A. (2011) Análise de sensibilidade dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência e razão de Bowen em cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.10, p.1046–1053.

SILVA, V. de P. R. da; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da Seasonal patterns of the energy balance components in a mango (*Mangifera indica* L.) orchard grown in Northeast Brazil. **Agricultural Journal**, v.1, n.1, 2006. 18- 23.

SILVA, V. de P. R. da. On climate variability in Northeast of Brazil. *Journal of Arid Environments*, v.58, p.575-596, 2004.

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

SOUZA, P. M. **Apostila de Política e desenvolvimento agrícola**. 2005.

SOUZA, E. F.; BERNADO, S.; CARVALHO, J. A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades em Campos dos Goytacazes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.19, n.1, p.28-12, 1999.

SOUZA, C. B. de. Necessidades hídricas, crescimento e desenvolvimento do abacaxizeiro nos tabuleiros de Santa Rita – PB. 2003. 124f. **Tese** (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB.

TEIXEIRA, A.H.C.T.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B.da. et al. Balanço de energia na cultura da videira, CV. “Itália”. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 137-141, 1997.

TEIXEIRA, A. H. C.; SOARES, J. M.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Balanço de energia num pomar de mangueira irrigada. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2001.

TEIXEIRA, A.H. de C. Avaliação dos componentes do balanço de energia durante o primeiro ano de cultura da banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p. 28 – 32, 2001.

TODD, R.W.; EVETT, S.R.; HOWELL, T.A. The Bowen ratio-energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfalfa evaluated in a semi-arid, advective environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.103, p.335-348, 2000.

TOLEDO FILHO, M.R. Estudo micrometeorológico de um cultivo de cana-de-açúcar em Alagoas. (2001) **Tese** (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 168p.

UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO (UNICA). 2012.

ÚNICA – União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo. http://www.unica.com.br/pages/cana_origem.asp. 12 Fev.2012.

UNLAND, H.E.; HOUSER, P.R.; SHUTTEWORTH, W.J; YANG, Z.L. Surface flux measurements and modelling at a semi-arid sonoran desert site. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 82, p.119 –153, 1996.