UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CONSUMO HÍDRICO DA CULTURA DA BANANEIRA NA REGIÃO DA CHAPADA DO APODI

Patricia Cordão Costa

Campina Grande – PB

Junho de 2007

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

Patricia Cordão Costa

CONSUMO HÍDRICO DA CULTURA DA BANANEIRA NA REGIÃO DA CHAPADA DO APODI

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para a obtenção do título de Mestra em Meteorologia.

Orientadores: Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva – UACA – UFCG

Prof. Dr. Gilberto Fernando Fisch – CTA – INPE

Campina Grande – PB

Junho de 2007

Patricia Cordão Costa

CONSUMO HÍDRICO DA CULTURA DA BANANEIRA NA REGIÃO DA CHAPADA DO APODI

Aprovada em: _____

BANCA EXAMINADORA:

_____

Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva – UACA – UFCG

_____

Prof. Dr. Gilberto Fernando Fisch – CTA – INPE

_____

Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo – UACA – UFCG

_____

Prof. Dr. José Espínola Sobrinho – UFERSA

Aos meus pais Antonio e Terezinha

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo ânimo e fortalecimento concedidos para obter vitórias nesse trabalho;

Ao prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva, meu orientador, pela ajuda prestada, que grandemente contribuiu para a realização desta pesquisa;

Ao prof. Dr. Gilberto Fernando Fisch, pela colaboração na orientação desse trabalho, cujas sugestões foram de grande importância;

Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, em especial, à Divanete e Eyres, pela notável atenção e gentileza demonstradas no decorrer do curso;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo financiamento da bolsa de estudo e da pesquisa (Proc. 620129/2004-2 ACT);

Ao prof. Dr. José Espínola Sobrinho, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, pela contribuição concedida na campanha experimental;

Ao Sr. João Teixeira, proprietário da Fazenda Frutacor, pelo apoio e instalações oferecidos para a realização do experimento;

Aos funcionários da Fazenda Frutacor, em especial à Simone da Silva Moura, técnica em irrigação, pela preciosa colaboração disponibilizada durante a pesquisa;

Ao colega Saulo Tasso, pela ajuda demonstrada durante a coleta de dados;

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, pela troca de experiências nas horas de estudo e pelos momentos de descontração;

Ao meu esposo Marinaldo, pela compreensão e apoio demonstrados nos momentos necessários;

Aos meus pais Antonio e Terezinha e aos meus irmãos Ana Paula, Michelly, Dulce, Terceiro, Corrinha, Mery e Jô, pelo apoio concedido e demonstrado no decorrer do curso.

RESUMO

A evapotranspiração (ETc) de um pomar de bananeiras cv. Pacovan Apodi (*Musa sp.,* AAAB), irrigado por gotejamento, localizado na Fazenda Frutacor (5º 4' 35" S; 37º 51' 54" O; 131 m), em Quixeré-CE, foi obtida através do Método das Correlações Turbulentas durante o período de setembro de 2005 a setembro de 2006. Além disso, estimou-se também a evapotranspiração de referência (ETo) com o objetivo de determinar o coeficiente de cultura (Kc) do pomar. A eficiência do uso da água (EUA) foi determinada com base nos dados de produtividade e evapotranspiração do pomar. Empreendeu-se uma análise do balanço de energia da superfície vegetada que permitiu caracterizar a partição do saldo de radiação para os outros componentes, isto é, fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível e fluxo de calor no solo, além de determinar o erro do fechamento da equação do balanço de energia. Os valores médios diários da ETc para todo o período experimental estiveram na faixa de 1,67 a 4,53 mm dia^{-1}, com média de 3,40 mm dia^{-1}. Os resultados do coeficiente de cultura mostraram um valor mínimo de 0,55 e um máximo de 1,0. Quanto à fração do saldo de radiação utilizada como fluxo de calor latente, esta variou entre 0,5 e 0,92 (adimensional), com valor médio de 0,68. Com relação ao fluxo de calor sensível, esta partição foi de 0,13 a 0,44, com média de 0,28 e valores na faixa de -0,04 a 0,12, com média de 0,03, foram utilizados como fluxo de calor no solo. O erro de fechamento da equação do balanço de energia, obtido através da correlação entre H + LE e Rn – G, foi de cerca de 20%, o qual é semelhante àqueles encontrados na literatura.

PALAVRAS-CHAVE: Balanço de energia, calor latente, *Musa sp.*, correlações turbulentas.

ABSTRACT

The evapotranspiration (ETc) from a drip irrigated banana orchard cv. Pacovan Apodi (*Musa sp*., AAAB), located in Fazenda Frutacor (5° 4' 35" S; 37° 51' 54" W; 131m), in Quixeré-CE was measured using the Eddy Covariance Method from September 2005 to September 2006. Besides, it was also considered the reference evapotranspiration (ETo) to achieve the crop coefficient (Kc) of the orchard. Water use efficiency (WUE) was obtained from yield and crop evapotranspiration. It has been accomplished energy balance over canopy that allowed to define the net radiation partition for the others components, that are, latent and sensible heat flux and soil heat flux, besides energy balance closure error was obtained. Daily average values of ETc for whole experimental period were in the strip from 1,67 to 4,53 mm day^{-1}, with average of 3,40 mm day^{-1}. Minimum value of crop coefficient had been 0,55 and maximum, 1,0. In regarding to net radiation partition used as the latent heat flux have varied between 0,5 and 0,92 (adimensional). With average value of 0,68. Fraction of sensible heat flux was 0,13 to 0,44, with average value 0,28, while fraction used in soil heat flux was 0,04 to 0,12, which its average achieved 0,03. Closure error of energy balance equation, attained through correlation between Rn – G and H + LE, was about 20%, which is similar to that found in others researches.

KEY-WORDS: Energy balance, latent heat, *Musa sp*., eddy covariance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa do Estado do Ceará, com destaque para a microrregião do Baixo Jaguaribe (cinza) e para o município de Quixeré (vermelho) 33

Figura 2: Área experimental: Fazenda Frutacor, Quixeré, CE, com destaque para o local onde foram colocados os sensores. 33

Figura 3: Vista do pomar de bananeiras cv. Pacovan Apodi: Fazenda Frutacor, Quixeré, Ceará 35

Figura 4: Vista superior do pomar de bananeiras: Fazenda Frutacor, Quixeré, Ceará. 35

Figura 5: Torre micrometeorológica instalada no centro do pomar de bananeiras 38

Figura 6: Anemômetro sônico 3D modelo CSAT3, instalado sobre a copa do bananal. 38

Figura 7: Sensor HMP45C, instalado sobre a copa do bananal. 39

Figura 8: Analisador de CO_2/H_2O LI-7500, instalado sobre a copa do bananal. 39

Figura 9: Saldo radiômetro modelo CNR1, instalado sobre a copa do bananal. 39

Figura 10: Evolução do saldo de radiação acumulado ao longo do dia e dos valores médios diários da temperatura do ar, do déficit de pressão de vapor e da velocidade do vento para todo o período experimental 46

Figura 11: Densidade de fluxo de calor latente para os dias 275 e 276 (2005) (A); dias 303, 304 e 305 (2005) (B); dias 75, 76,77 (2006) (C) e dias 114, 115, 116 (2006) (D) 48

Figura 12: Fluxo de calor latente obtido pelo método das correlações turbulentas (LE_ct) *versus* fluxo de calor latente estimado pela equação do balanço de energia (LE_res) 49

Figura 13: Evolução da ETc_ct e ETc_res em pomar de bananeiras, no município de Quixeré – CE, no período de setembro de 2005 a setembro de 2006 50

Figura 14: Evolução da ETo em pomar de bananeiras, no município de Quixeré – CE, no período de setembro de 2005 a setembro de 2006 51

Figura 15: Curva do coeficiente de cultura para um pomar de bananeiras, Quixeré – CE, no período de setembro de 2005 a setembro de 2006 52

Figura 16: Variação ao longo do dia do saldo de radiação, dos fluxos de calor sensível, calor latente e calor no solo para os dias selecionados em 2005 54

Figura 17: Variação ao longo do dia do saldo de radiação, dos fluxos de calor sensível, latente e calor no solo para os dias selecionados em 2006 55

Figura 18: Evolução das razões LE/Rn, H/Rn, G_{medido}/Rn e $G_{estimado}$/Rn diárias para alguns dias do período experimental 57

Figura 19: Evolução da razão Rn/Rg diária para alguns dias do período experimental que se verificaram condições de céu claro ou de nebulosidade reduzida 58

Figura 20A: Saldo de radiação *vs* radiação global para os meses de setembro de 2005 a abril de 2006 considerando-se os dados registrados entre 8:00 e 16:00 h 59

Figura 20B: Saldo de radiação *vs* radiação global para os meses de maio a setembro de 2006 considerando-se os dados registrados entre 8:00 e 16:00 h 60

Figura 21: Fechamento da equação do balanço de energia da superfície para todo o período de estudo 62

Figura 22: Fechamento da equação do balanço de energia da superfície, utilizando G estimado a partir de Rn, para todo o período de estudo 62

Figura 23A: Fechamento da equação do balanço de energia da superfície para os meses de setembro (2005) a abril (2006) 63

Figura 23B: Fechamento da equação do balanço de energia da superfície para os meses de maio a setembro de 2006 64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Indicação do *fetch* para cada direção do vento 40

Tabela 2: Médias mensais obtidas durante o período experimental da temperatura do ar (Ta), Precipitação pluviométrica (Pr), velocidade do vento (u), pressão atmosférica (Po), umidade relativa (UR) e radiação solar (Rg), Quixeré, CE 44

Tabela 3: Valores médios mensais do saldo de radiação (Rn), fluxo de calor no solo (G), fluxo de calor latente (LE) e fluxo de calor sensível (H) 56

Tabela 4: Evapotranspiração da cultura da bananeira e evapotranspiração de referência para o período estudado 65

SUMÁRIO

RESUMO v

ABSTRACT vi

LISTA DE FIGURAS vii

LISTA DE TABELAS ix

1 INTRODUÇÃO 12

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 15

2.1 Evapotranspiração 17

2.1.1 Fatores que afetam a evapotranspiração 18

2.1.2 Evapotranspiração de referência e evapotranspiração de cultura 19

2.2 Balanço de energia de uma superfície vegetada 21

2.3 Métodos de estimativa da evapotranspiração 23

2.3.1 Método das correlações turbulentas 24

2.4 Coeficiente de cultura 28

2.5 Eficiência do uso da água em culturas irrigadas 31

3 MATERIAL E MÉTODOS 33

3.1 Localidade 33

3.2 Descrição da cultura estudada 35

3.3 Irrigação 37

3.4 Instrumentos utilizados 37

3.5 Coleta e correção dos dados 38

3.6 Medidas dos fluxos turbulentos 41

3.7 Saldo de radiação e fluxo de calor no solo 42

3.8 Evapotranspiração de referência e coeficiente de cultura 43

3.9 Eficiência do uso da água 43

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 44

4.1 Características climáticas da área de estudo 44

4.2 Saldo de radiação, temperatura do ar, velocidade do vento e déficit de pressão de vapor 46

4.3 Medição direta da evapotranspiração 48

4.3.1 Evolução diária do fluxo de calor latente 48

4.3.2 Evapotranspiração da cultura e Evapotranspiração de referência 50

4.3.3 Coeficiente de cultura 52

4.4 Balanço de energia da superfície 54

4.4.1 Evolução diária e dados mensais 54

4.4.2 Partição da energia disponível entre os componentes do balanço de energia 57

4.4.3 Correlação entre a radiação global e o saldo de radiação 59

4.4.4 Fechamento da equação do balanço de energia 62

4.5 Eficiência do uso da água 65

5 CONCLUSÕES 67

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 69

1 INTRODUÇÃO

A água é um bem inestimável e essencial à vida. Seu uso é fundamental em diversos campos, tais como abastecimento doméstico, geração de energia elétrica, irrigação, indústria, turismo, piscicultura, entre tantos outros.

Por ser um recurso limitado, a quantidade de água disponível para cada pessoa tem-se reduzido, tendendo a tornar sua escassez uma questão inevitável. Diversas são as causas para a escassez da água: as mudanças climáticas, que podem tornar mais seco o clima de algumas regiões; a destruição de florestas, que ao longo de anos traz conseqüências drásticas para o ecossistema; a contaminação da água de rios, lagos e lençóis subterrâneos; além do crescimento populacional.

Este último, porém, parece ser o fator que mais contribui para o aumento da escassez da água. Crescimento populacional implica em aumento da produção de alimentos que, por sua vez, leva a um maior consumo de água, quer seja pelo crescimento natural das áreas com culturas, quer seja pela prática da irrigação, que é indispensável para a produção de alimentos.

Segundo documento publicado pela Organização das Nações Unidas – ONU, no Dia Mundial da Água de 2007, mais de 70% do total da água doce mundial disponível é utilizada

na agricultura irrigada, sendo que nos países que importam alimentos e possuem uma economia desenvolvida, este dado é de cerca de 40% e para muitos países cuja atividade econômica primária é a agricultura, a água utilizada neste setor chega a 95% (ONU, 2007).

Face a esta questão, a busca por meios de melhorar o uso da água na produção agrícola, com ênfase no alcance de rendimentos satisfatórias, deve ser levada em consideração no planejamento de todo projeto agrícola e essa não deve ser uma preocupação apenas dos produtores, mas da sociedade em geral. Este objetivo pode ser atingido buscando-se um aumento da eficiência e precisão na irrigação, além do conhecimento das exigências hídricas das culturas, permitindo assim que haja uma distribuição racional dos recursos hídricos (PAÇO, 2003).

O principal objetivo da irrigação é suprir as necessidades hídricas das plantas; porém, o excesso na aplicação de água implica em desperdício e, como conseqüência, aumento nos custos de produção, além de impactos negativos ao meio ambiente. De acordo com Lima et al. (2000), "por não adotar um método de controle da irrigação, o produtor rural usualmente irriga em excesso, temendo que a cultura sofra um estresse hídrico, o que pode comprometer a produção".

Diante do exposto, o interesse por encontrar soluções que permitam aos produtores agrícolas otimizarem o uso da água assume cada vez mais importância.

O conhecimento da evapotranspiração da cultura (ETc) tem sido um meio através do qual muitos produtores fundamentam o manejo de projetos de irrigação, pois contribui para o aumento da produtividade e aperfeiçoamento do uso dos recursos hídricos. A evapotranspiração da cultura pode ser estimada a partir da evapotranspiração de uma cultura de referência (ETo), calculada por meio de dados climáticos da região e de um coeficiente relativo à cultura, chamado de coeficiente de cultura. Porém, uma alternativa amplamente aplicada para obter a ETc é através da medição direta desse fluxo, para a qual utilizam-se

sensores com excelente grau de segurança e confiabilidade (PAÇO, 2003). Um desses métodos de medição é a técnica das correlações turbulentas, a qual é abordada nesse trabalho.

A iniciativa de obter a evapotranspiração diária da cultura da bananeira utilizando o referido método, como também estimar seu coeficiente de cultura, foi, principalmente, com o propósito de fornecer subsídios para que os fruticultores da área de estudo e do Semi-árido brasileiro possam fazer uso racional da água nos cultivos irrigados.

O trabalho experimental teve início em setembro de 2005 e se prolongou até 18 de setembro de 2006, quando foi desativada a campanha experimental, que culminou com a retirada dos instrumentos de medição da Fazenda Frutacor.

O objetivo principal deste estudo foi a determinação da evapotranspiração diária de um pomar de bananeiras irrigado, localizado na Chapada do Apodi, no município de Quixeré, CE, utilizando o Método das Correlações Turbulentas.

A pesquisa teve ainda por objetivos específicos: a) obter as componentes do balanço de energia; b) computar a evapotranspiração de referência (ET_o) diária; c) determinar o coeficiente de cultura da bananeira (K_c); d) analisar o fechamento da equação do balanço de energia; e e) quantificar a eficiência do uso da água (EUA) na referida cultura.

Este trabalho foi dividido em cinco capítulos: o primeiro, o presente capítulo, consiste em uma introdução geral, o segundo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o tema, evapotranspiração de culturas e seus métodos de medição. No terceiro é feita uma abordagem sobre o material e a metodologia utilizados. No quarto capítulo são expostos e discutidos os resultados obtidos e, por fim, no quinto capítulo, são apresentadas as conclusões do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil a banana é considerada uma fruta de preferência popular e é tida como a mais importante fruta tropical; além disso, é fonte de alto valor nutritivo e energético.

A banana, por ser originária de clima tropical úmido, exige temperaturas que estejam entre 10 e 40ºC, sendo os melhores limites térmicos para um bom desenvolvimento aqueles com temperaturas entre 20 e 24ºC. Porém, é possível se desenvolver satisfatoriamente em locais, cujos limites de temperatura estejam entre 15 e 35ºC. As melhores condições para uma boa produção se encontram em regiões com temperaturas elevadas o ano todo e cujas médias mensais estejam entre 24 e 29ºC (RANGEL et al., 2004).

Com relação à demanda de água para a bananeira, em regiões semi-áridas, segundo Borges (2003), a ETc inicia-se com 45% da evapotranspiração potencial nos primeiros 70 dias, elevando-se para 85% aos 210 dias (fase de formação dos frutos) e atingindo um máximo de 110% aos 300 dias. Daí a importância de determinar a evapotranspiração diária da cultura para, assim, ter controle na reposição da água através de irrigação.

O cultivo de banana no Brasil se apresenta em todo o território nacional. Segundo o Levantamento Sistemático de Produção Agrícola, a área colhida na safra de 2005 foi de

492.240 ha, sendo que a maior produtora foi a região Nordeste (37,6%), seguida das regiões Sudeste (27,5%), Norte (19,7%), Sul (10,4%) e Centro-Oeste (4,8%). Da produção nordestina o Ceará participou com 8,6% (IBGE, 2005).

Os principais fatores relacionados ao desempenho da produtividade da bananeira na região Nordeste são o clima e o solo, os quais são favoráveis também à produção de outras culturas, tais como: manga, uva, melão, goiaba, abacaxi, entre outras. Além disso, devido à grande variabilidade do regime pluviométrico da região, a maior parte do cultivo é feito sob condições irrigadas, permitindo, assim, a produção durante todo o ano.

Segundo dados da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX), a exportação da banana em 2003 atingiu 220.770,82 t, representando um faturamento de US$ 30 milhões, do quais US$ 11,7 milhões corresponderam à exportação para a Argentina, principal importador da fruta. As exigências desse mercado quanto à qualidade do produto são menores, se comparadas às norte-americanas e européias. Este é um fator que impulsiona a comercialização para esse e outros países do Mercosul (PEREZ, 2004).

Apesar do crescimento nas exportações ocorrido nos últimos anos, a bananicultura brasileira ainda deixa muito a desejar quanto a esse aspecto. Um dos fatores que impede a produção dessa fruta de alcançar um maior rendimento em termos de comércio externo é a qualidade do produto, que não atende às exigências dos mercados europeu e norte-americano, maiores importadores mundiais de banana.

Para a Europa e os Estados Unidos, o Nordeste é a região do Brasil mais apropriada para produção devido a sua maior proximidade com esses países. Porém, a ausência de tecnologia de produção, pós-colheita, comercialização e transportes ideais na maioria dos pólos de produção impedem essa região de alcançar um maior faturamento com exportação de banana (PEREZ, 2004).

2.1 Evapotranspiração

Muitos processos atmosféricos e hidrológicos são influenciados pela troca de energia existente entre a atmosfera e a superfície vegetada. A transferência de vapor d'água para a atmosfera é um tema vastamente estudado por micrometeorologistas, agrometeorologistas e estudiosos vinculados a este campo de pesquisa. Isto se dá devido à necessidade de estimar e/ou medir as taxas de perda d'água de diferentes superfícies.

A evapotranspiração é um termo usado para descrever o total de vapor d'água transferido para a atmosfera. Ou seja, é uma junção dos processos de evaporação e de transpiração, já que esses são fenômenos que ocorrem simultaneamente (ARYA, 1988). A quantificação da taxa de evapotranspiração de culturas irrigadas é objeto de estudo de particular importância, pois este parâmetro está associado diretamente ao desenvolvimento e produtividade de uma cultura.

Evaporação diz respeito ao fenômeno físico de conversão de água na fase líquida em vapor d'água, comumente utilizado para se reportar a perdas d'água para a atmosfera provindas de superfícies de água livre, tais como lagos, rios, oceanos, etc, de solo nu com teor de umidade e da superfície das folhas após precipitação ou irrigação. A transpiração trata da porção de vapor d'água transferida para a atmosfera proveniente de vegetação. Este transporte depende da condutância estomática, a qual está associada ao grau de abertura dos estômatos, cujo comportamento é geralmente regulado pela temperatura, umidade do ar, radiação, concentração atmosférica de dióxido de carbono e pelo estado hídrico da planta (PAÇO, 2003).

2.1.1 Fatores que afetam a evapotranspiração

Para que a água líquida seja transformada em vapor é necessária uma energia disponível, que diz respeito ao calor latente de vaporização (λ = 2,45 MJ kg^{-1}), proveniente principalmente da energia solar. A radiação solar é um fator primordial no processo de evaporação. Desse modo, a evapotranspiração de superfícies evaporantes localizadas em regiões tropicais, por exemplo, tende a ser elevada na maior parte do ano devido à maior disponibilidade de energia solar.

A quantidade de água no solo é um fator muito importante no processo de evapotranspiração. Considerando-se, por exemplo, uma cultura com bastante água disponível, a perda d'água para a atmosfera ocorre sob condições potenciais, dependendo fortemente da energia disponível, já que há uma maior facilidade para a transferência de vapor.

Outro fator concernente à evapotranspiração é a temperatura. Havendo água disponível no solo, ao passo que aumentar a temperatura da superfície evaporante, aumentará o fluxo de vapor d'água. Além disso, quando a temperatura do ar se eleva, há um aumento na sua capacidade de reter vapor d'água, e um conseqüente aumento do déficit de pressão do vapor d'água.

A influência da umidade do ar no fluxo de vapor d'água para a atmosfera diz respeito ao fato desse ser proporcional ao déficit de pressão de vapor ($e_s - e_a$), que está associado à quantidade de vapor de água presente na atmosfera. Quanto maior o déficit de pressão de vapor maior a contribuição desse elemento para o processo evapotranspirativo.

Quando o ar acima de uma superfície evaporante torna-se saturado, o processo de evaporação cessa, ainda que haja energia disponível. Se houver movimentação do ar, o fluxo de vapor d'água aumenta, já que a atuação do vento é no sentido de deslocar a massa de ar úmido da superfície evaporante, dando lugar ao ar mais seco.

2.1.2 Evapotranspiração de referência e evapotranspiração de cultura

Ao estudar a evapotranspiração, convém definir alguns termos relacionados a este importante elemento.

Segundo Allen et al. (1998), a *evapotranspiração de referência* (ETo) representa a perda d'água de uma cultura hipotética, sem limitações de água, de modo que implica em um desenvolvimento ativo dessa cultura. A ETo está relacionada à demanda evaporativa da atmosfera em um local e época do ano específicos.

Por se tratar de uma cultura com água disponível em abundância, fatores relacionados ao solo não afetam a ETo. Além disso, as características da cultura não são consideradas. Portanto, apenas as variáveis climatológicas contribuem para o cômputo da evapotranspiração de referência (ALLEN et al., 1998).

Ainda segundo o autor supracitado, para a cultura de referência considera-se uma área coberta com grama, bem irrigada e com altura uniforme (0,12 m), cuja resistência da superfície vegetada deve ser 70 s m^{-1} e um albedo de 0,23.

A evapotranspiração de referência pode ser obtida através de equações empíricas, utilizando dados coletados de estações meteorológicas. Em pesquisas e em manejo hídrico de culturas que envolvem o cálculo da evapotranspiração, o método recomendado e amplamente utilizado é o FAO-Penmann-Monteith, cuja padronização (Equação 2.4) foi obtida combinando-se a equação original de Penman-Monteith (Equação 2.1) com as equações da resistência da superfície (Equação 2.2) e da resistência aerodinâmica (Equação 2.3), a saber:

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \dfrac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma\left(1 + \dfrac{r_s}{r_a}\right)} \tag{2.1}$$

em que ρ_a é a densidade do ar à pressão constante (kg m^{-3}), c_p o calor específico do ar (MJ kg^{-1} °C^{-1}) e r_a e r_s são as resistências aerodinâmica e da superfície evapotranspirante (s m^{-1}).

$$r_s = \frac{r_l}{LAI_{ATIVO}} \qquad s\ m^{-1} \tag{2.2}$$

onde r_l é a resistência estomática das folhas bem iluminadas (s m^{-1}) e LAI_{ATIVO} o índice de área foliar ativo (adimensional).

$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{z_m - d}{z_{om}}\right)\ln\left(\frac{z_h - d}{z_{oh}}\right)}{k^2 u_z} \qquad s\ m^{-1} \tag{2.3}$$

em que z_m e z_h são as alturas de medida do vento e da umidade (m), respectivamente, d a altura do deslocamento do plano zero (m), z_{om} e z_{oh} os coeficientes de rugosidade para transporte de *momentum* e calor sensível (m), respectivamente, k a constante de von Karman (0,41) e u_z a velocidade do vento à altura z_m.

$$ET_o = \frac{0{,}408\Delta(R_n - G) + \gamma\frac{900}{T+273}u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0{,}34u_2)} \qquad (mm\ dia^{-1}) \tag{2.4}$$

onde R_n é o saldo de radiação (MJ m^{-2}), G é o fluxo de calor no solo (MJ m^{-2}), T é a temperatura média diária a 2 m de altura (°C), u_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}), e_s é a pressão de saturação do vapor (kPa), e_a é a pressão real de vapor (kPa), γ é a constante psicrométrica (0,66 kPa °C^{-1}) e Δ é a declividade da curva de pressão de vapor (kPa °C^{-1}).

A *evapotranspiração da cultura* é definida com sendo a quantidade de água utilizada por uma cultura em qualquer uma de suas fases de desenvolvimento.

De acordo com Allen et al. (1998), a evapotranspiração de uma cultura pode ocorrer sob condições padrão ou não-padrão. A primeira diz respeito à situação em que a cultura está

submetida à excelente estado agronômico, crescida em grandes campos e bem irrigada, de modo a proporcionar uma ótima produtividade sob as condições climáticas do local (ou região). A segunda trata-se de um plantio em condições fora do padrão necessário para atingir um resultado satisfatório quanto à produtividade da cultura, ou seja: cultura com estresse hídrico, doenças ou pragas ou mesmo elevada salinidade do solo ou ainda baixa fertilidade do solo. Tais efeitos causam uma redução na evapotranspiração da cultura, de modo que é necessário utilizar fatores de correção para o seu cômputo.

2.2 Balanço de energia de uma superfície vegetada

O conhecimento do balanço de energia de uma superfície vegetada proporciona informações importantes para o estudo da evapotranspiração de uma cultura. O processo de evapotranspiração ocorre mediante a troca de energia entre a atmosfera, o solo e a superfície evapotranspirante, e depende fortemente da quantidade de energia disponível. Partindo-se do princípio da conservação de energia na superfície vegetada, o balanço de energia de uma cultura agrícola pode ser descrito pela equação:

$$R_n - G = H + LE \tag{2.5}$$

onde H e LE são os fluxos de calor sensível e calor latente, respectivamente, liberados para a atmosfera.

Nessa forma simplificada da equação do balanço de energia consideram-se apenas os fluxos verticais, de modo que os fluxos horizontais, transferidos pelo processo de advecção são desprezados. Nesse sentido, a aplicação da Equação (2.5) deve se restringir a áreas extensas e de vegetação homogênea. Outros componentes, como a energia armazenada ou liberada pela planta e a energia utilizada para a realização dos processos metabólicos são

também desconsiderados, pois representam apenas uma pequena parcela da energia disponível quando comparados com os outros termos (ALLEN et al., 1998).

O balanço de energia de uma superfície vegetada revela a maneira como a energia disponível é dividida para cada um dos fluxos H, LE e G. Dessa maneira, é possível avaliar a importância relativa de cada componente. Tal importância pode ser caracterizada pelas razões LE/Rn, H/Rn e G/Rn, como também por meio da Razão de Bowen (PAÇO, 2003).

Em pesquisas com culturas agrícolas envolvendo o balanço de energia é comum obter-se a razão de Bowen (β) para avaliar a importância dos fluxos H e LE. Pezzopane e Pedro Júnior (2003), para o caso de um vinhedo, cv. Niagara Rosada, em um dia característico do período seco, obtiveram um valor máximo de β igual a 4,18. Já para um dia ensolarado, após um período de chuva, os valores de β estiveram na faixa de 0,3 a 0,7 durante o período diurno.

Righi (2004), em um estudo sobre a evapotranspiração e os componentes do balanço de energia de um cafezal adensado, em Piracicaba, obteve valores médios de β iguais a 0,14, 0,26, 0,38 e 0,71 durante os períodos de outubro a dezembro de 2002, fevereiro a março de 2003, maio a julho de 2003 e agosto a setembro de 2003, respectivamente.

Em Petrolina-PE, na região do Submédio São Francisco, Lopes et al. (2001) encontraram, para um pomar de mangueiras, valores médios diurnos máximo e mínimo da razão de Bowen de 0,45 e 0,13, ocorridos nos dias 10/08/98 (floração plena) e 19/09/98 (queda fisiológica dos frutos).

As frações do saldo de radiação utilizadas como fluxos de calor latente e calor sensível (LE/Rn e H/Rn) podem ser indicativos do estado hídrico da planta e do solo. Teixeira (2001), ao analisar o balanço de energia da bananeira durante o primeiro ciclo da cultura, em Petrolina-PE, observou um aumento de LE/Rn de 0,83 para 0,93. Conforme este autor, esses valores são considerados mais altos do que alguns encontrados na literatura para certas

frutíferas, os quais podem estar associados à condição de umidade do solo mais elevada que, por sua vez, diz respeito à elevada exigência hídrica da bananeira.

Para essa mesma região, os percentuais do saldo de radiação utilizados como fluxo de calor latente, calor sensível e calor no solo também foram obtidos por Soares et al. (2003) para a cultura da videira (*Vitis vinifera* L.), cv. Festival, no período de julho a novembro de 2001. Para o sistema "copa-solo", os valores de LE/Rn estiveram na faixa de 0,75 a 0,91; a partição utilizada por H, entre as fases da poda e brotação das gemas vegetativas e parada de crescimento do fruto, entre 0,1 e 0,17 e para as três fases seguintes, esta fração foi 0,06, 0,15 e 0,12, respectivamente; quanto a G/Rn, seu valor foi de 0,04, com exceção das fases de desenvolvimento vegetativo e pré-floração e floração, cuja fração foi cerca de 0,14.

2.3 Métodos de estimativa da evapotranspiração

O principal objetivo da irrigação é suprir as necessidades hídricas das plantas. Porém, antes do estabelecimento de qualquer projeto de irrigação, é necessário levar em consideração o impacto que essa prática pode trazer ao ambiente, já que o crescimento do cultivo de produtos agrícolas fez da irrigação a responsável pelo maior consumo de água doce, dentre todas as atividades que usam esse precioso elemento (PAÇO et al., 2006).

Um excesso no uso da irrigação conduz a uma perda de água, ocasionando assim em custos de produção mais altos e sérios impactos ambientais. Para evitar desperdícios é fundamental estimar as exigências hídricas das culturas com bastante precisão, de modo a garantir o manejo sustentável dos cultivos (idem).

Cordeiro (2000) afirma que "a aferição da quantidade de água necessária a uma cultura é o parâmetro mais importante para o correto planejamento, dimensionamento e

manejo de qualquer sistema de irrigação". Esta água requerida pelas plantas representa a evapotranspiração da cultura.

Há um vasto número de métodos de determinação da ETc, os quais são utilizados de acordo com as escalas temporal e espacial para as quais deseja-se aplicar. A utilização de lisímetros, por exemplo, é uma forma bastante precisa para determinar os diferentes termos da equação do balanço hídrico no solo e, a partir daí, obter a evapotranspiração da cultura.

Miranda et al. (2004) obtiveram médias diárias da evapotranspiração da melancia cv. Crimson Sweet, medida por um lisímetro de pesagem, no município de Paraipaba, CE, de 1,4 mm dia^{-1}, 3,7 mm dia^{-1}, 6,4 mm dia^{-1} e 4,2 mm dia^{-1} nas fases inicial, de crescimento, intermediária e final, respectivamente.

Com o uso desse mesmo método, em pesquisa conduzida em Piracicaba, SP, no período de 10 de maio a 8 de junho de 2000, Silva (2003) obteve valor médio diário da evapotranspiração do capim tanzânia (*Panicum maximum* Jacq) de 4,34 mm dia^{-1}, enquanto que por meio do método do balanço de energia baseado na razão de Bowen este valor foi de 4,13 mm dia^{-1}.

Outra técnica muito utilizada é o método das correlações turbulentas, o qual será descrito na seção seguinte, além do balanço de energia baseado na razão de Bowen.

O método da razão de Bowen fundamenta-se na equação do balanço de energia e na razão $\beta = H/LE$. Obter as estimativas de LE e H implica nas medições de Rn e G, além da temperatura do ar e da umidade em dois níveis acima da superfície vegetada. Este é um método amplamente utilizado (Cunha e Bergamaschi, 1994; Teixeira, 2001; Paço, 2003; Azevedo et al., 2005; Nagler et al., 2005; Silva et al. 2006).

2.3.1 Método das correlações turbulentas

Este método, inicialmente apresentado por Swinbank *apud* Paço (2003), constitui uma técnica direto de medida dos fluxos verticais da camada limite atmosférica em conseqüência das trocas turbulentas, características desta camada, baseado nas covariâncias entre as medidas das flutuações das variáveis utilizadas, obtidas pelo produto dessas flutuações (ARYA, 1988).

Apesar da praticidade da técnica, uma desvantagem que há diz respeito à necessidade do uso de sofisticados instrumentos de alta freqüência, os quais são bastante dispendiosos. Porém, isso não tem impedido que a sua utilização tenha se tornado ampla em âmbito mundial.

Uma condição necessária para a aplicação desse método é garantir que no plano horizontal a superfície seja uniforme, de modo que não se verifique o efeito de advecção.

Para a descrição do fundamento teórico desse método, parte-se da premissa de que o valor das flutuações de uma variável meteorológica, por exemplo, a velocidade do vento, é dado pela diferença entre o seu valor real e o seu valor médio, isto é:

$$u' = u - \bar{u}, \tag{2.6}$$

onde, segundo Stull (1988), u' representa a parte do escoamento que varia com períodos menores que aproximadamente uma hora (flutuações ou desvios) e $\bar{u}$, valor médio ou estacionário, representa a parte que varia com um período maior que aproximadamente uma hora.

A ocorrência de flutuações em torno do valor médio de uma entidade atmosférica se dá devido à presença de turbilhões ou vórtices, os quais atuam no transporte das propriedades neles contidas. Segundo Oke (1987), tais propriedades dizem respeito à sua massa, que é

determinada pela sua densidade (ρ), se considerar uma unidade de volume, à velocidade vertical do vento (w) e ao conteúdo volumétrico de qualquer variável (S).

Considerando-se uma entidade (S), desde que se disponham dos valores das médias e das respectivas flutuações das propriedades por ela transportadas, então a densidade do fluxo vertical médio de S é dada por:

$$S = \overline{(\bar{\rho} + \rho')(\bar{w} + w')(\bar{s} + s')}\,. \tag{2.7}$$

Expandindo esta equação, segue-se que:

$$S = \overline{(\bar{\rho}\bar{w} + \bar{\rho}w' + \rho'\bar{w} + \rho' w')(\bar{s} + s')}$$

$$S = \overline{\bar{\rho}\bar{w}\bar{s} + \bar{\rho}w'\bar{s} + \rho'\bar{w}\bar{s} + \rho' w'\bar{s} + \bar{\rho}\bar{w}s' + \bar{\rho}w's' + \rho'\bar{w}s' + \rho' w's'}$$

$$S = \overline{\bar{\rho}\bar{w}\bar{s}} + \overline{\bar{\rho}w'\bar{s}} + \overline{\rho'\bar{w}\bar{s}} + \overline{\rho' w'\bar{s}} + \overline{\bar{\rho}\bar{w}s'} + \overline{\bar{\rho}w's'} + \overline{\rho'\bar{w}s'} + \overline{\rho' w's'}$$

$$S = \overline{\bar{\rho}\bar{w}\bar{s}} + \overline{\bar{\rho}\bar{w}s'} + \overline{\bar{\rho}w'\bar{s}} + \overline{\bar{\rho}w's'} + \overline{\rho'\bar{w}\bar{s}} + \overline{\rho'\bar{w}s'} + \overline{\rho' w'\bar{s}} + \overline{\rho' w's'} \tag{2.8}$$

Com relação a esta última equação é possível torná-la mais simples, bastando para isso aplicar algumas definições. De acordo com as médias de Reynolds, a média de uma flutuação é considerada nula (Stull, 1988) (termos $\overline{\bar{\rho}\bar{w}s'}, \overline{\bar{\rho}w'\bar{s}}$ e $\overline{\rho'\bar{w}\bar{s}}$). Do mesmo modo, considerando-se que ρ seja constante na camada inferior da atmosfera, então os termos $\overline{\rho'\bar{w}s'}, \overline{\rho' w'\bar{s}}$ e $\overline{\rho' w's'}$ são desprezados.

Para uma superfície horizontalmente homogênea, a quantidade de ar ascendente é aproximadamente igual à quantidade de ar descendente. Este fato é uma decorrência de que a velocidade vertical média ($\bar{w}$) é desprezível. Assim, a Equação (2.8) resulta em:

$$S = \rho\overline{w's'}\,, \tag{2.9}$$

onde $\overline{w's'}$ simboliza a covariância instantânea entre as variáveis w e s. Em se tratando dos fluxos de calor sensível e calor latente, a Equação (2.9) é substituída pelas que seguem:

$$H = \rho c_p \overline{w'T'} \tag{2.10}$$

e

$$LE = L_v \overline{w'q'} \tag{2.11}$$

em que ρ corresponde à densidade do ar úmido (kg m^{-3}), c_p ao calor específico do ar à pressão constante (J kg^{-1} $^oC^{-1}$), L_v ao calor latente de vaporização (J kg^{-1}) e $\overline{w'T'}$ e $\overline{w'q'}$ às covariâncias entre a velocidade vertical do vento (m s^{-1}) e a temperatura do ar (°C) e a velocidade vertical do vento (m s^{-1}) e a densidade de vapor d'água (kg m^{-3}), respectivamente.

Resultados obtidos por Ferreira et al. (2004), ao medir a ETc de um montado de sobro (*Quercus suber*) no Vale do rio Tejo, em Lisboa, Portugal, utilizando o método das correlações turbulentas, no período de maio de 2003 a setembro de 2003, mostraram que em maio o valor médio foi de 4 mm dia^{-1}, havendo um decréscimo para cerca de 2 mm dia^{-1} em junho e em seguida para 1 mm dia^{-1} nos meses de agosto e setembro. Esses resultados foram validados utilizando a equação do balanço de energia, com o objetivo de verificar o fechamento dessa equação. O erro encontrado foi de 10%.

Em uma outra pesquisa realizada num pomar de pessegueiros (*Prunus persica* L.), localizado na região de Montijo, Portugal, Paço (2003) determinou a evapotranspiração da cultura com o objetivo de encontrar meios de aperfeiçoar a irrigação na referida cultura. Para o período considerado em 1998, a ETc, medida pelo método das correlações turbulentas, variou entre 1,4 e 3,6 mm dia^{-1} e para o período de 1999, os valores estiveram entre 2,1 e 3,3 mm dia^{-1}.

O método das correlações turbulentas também foi utilizado por Simmons et al. (2006) com o objetivo de avaliar a precisão de duas outras técnicas micrometeorológicas (Análise de Renovação da Superfície (RS) e *One propeller eddy covariance* (OPEC)) para o cálculo da ETc diária e sazonal de um pomar de nogueiras (*Carya illinoinensis*), localizado nas

proximidades de Las Cruces, Novo México, Estados Unidos, nos ciclos de 2004 e 2005. Os valores diários do LE_{OPEC} e do LE_{RS} foram subestimados quando comparados ao LE medido pelo método das correlações turbulentas em cerca de 8% e 11%, respectivamente. Porém, o estudo mostrou que os sistemas OPEC e RS são adequados para medida da evapotranspiração de pomares de nogueiras.

Para obter a evapotranspiração de um pomar de bananeiras cv. Grand Naine cultivado em ambiente protegido (*screenhouse*), com sistema de irrigação por gotejamento, na costa sul do Mar da Galiléia, em Israel, no período de 7 a 20 de junho de 2005, Tanny et al. (2006) utilizaram também a técnica das correlações turbulentas. O valor médio diário obtido foi de 5,6 mm dia^{-1}.

No Brasil o uso do método das correlações turbulentas em cultivos agrícolas não é comum. Esta técnica tem sido aplicada com mais amplidão em regiões florestais, a exemplo das pesquisas ligadas ao Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia – LBA. Segundo Manzi e Santos (2004), esse experimento possui um amplo programa de coleta de dados micrometeorológicos de medidas de fluxos de energia, CO_2 e vapor de água operando 14 torres em 10 localidades. As torres estão distribuídas em diversos tipos de clima, regime de precipitação e de cobertura vegetal, incluindo áreas de floresta e savana alagadas, floresta de transição (cerradão) e cerrado no Centro-Oeste.

Arruda et al. (2006) obtiveram a evapotranspiração de uma região de transição entre floresta tropical úmida e cerrado, localizada no município de Sinop, Mato Grosso, por meio do método das correlações turbulentas e da razão de Bowen no período de maio de 2002 a fevereiro de 2003. Tais resultados mostraram uma subestimativa dos valores da evapotranspiração obtidos usando o método da razão de Bowen quando comparados com àqueles medidos pelo método das correlações turbulentas.

Em outra atividade ligada ao projeto LBA, Pinto (2003) obteve a evapotranspiração de uma área de floresta tropical úmida localizada em um sítio experimental na Floresta Nacional do Tapajós, nas proximidades de Santarém-PA. Os dados foram coletados no período de julho de 2000 a dezembro de 2001. A média da evapotranspiração registrada na estação seca foi por volta de 3,9 mm dia^{-1}, enquanto que na estação úmida este valor foi de 3,0 mm dia^{-1}.

2.4 Coeficiente de cultura

Em regiões onde há grande variabilidade no regime pluviométrico (por exemplo, o Semi-árido brasileiro), as necessidades hídricas das culturas agrícolas são compensadas por projetos de irrigação. Um fator necessário para que haja um manejo hídrico adequado desses projetos é ter conhecimento da quantidade de água a ser aplicada em cada cultura. Um parâmetro diretamente ligado a esta questão é o coeficiente de cultura (K_c).

O K_c é um coeficiente que denota a relação entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o). Esta relação é comumente utilizada para a estimativa da ET_c, obtida basicamente pela multiplicação de ET_o pelo K_c ou seja:

$$ETc = Kc.ETo \tag{2.12}$$

Porém, neste estudo, pretendeu-se obter o coeficiente de cultura da bananeira a partir de dados da ET_c medidos e da ET_o estimados pela equação da FAO Penman-Monteith, descrita na seção anterior.

A variação do K_c ocorre de acordo com os estágios fenológicos da cultura. No início, após a emergência da planta e enquanto a sua cobertura vegetal não é completa, os valores de desse coeficiente são pequenos. Ao final do estágio vegetativo, a cultura está com a cobertura vegetal completa e o crescimento do sistema radicular estabilizado. Deste modo, o K_c atinge

valores máximos. Por outro lado, há um decréscimo dos seus valores ao atingir a fase de maturação (REICHARDT, 1987).

De acordo com Allen et al. (1998), o Kc também é afetado pelas condições climáticas predominantes e disponibilidade de água no solo. Variações na velocidade do vento, que por sua vez alteram a resistência aerodinâmica (r_a) da cultura, influenciam diretamente o coeficiente de cultura. Este efeito é maior em culturas cuja altura é superior à cultura de referência, pois a diferença entre suas propriedades aerodinâmicas é mais acentuada.

Sob condições de climas mais úmidos, com baixa velocidade do vento, o déficit de pressão de vapor ($e_s - e_a$) é pequeno, daí o efeito na ETc devido à diferença na resistência aerodinâmica entre uma cultura agrícola e a cultura de referência também é pequeno, implicando assim em baixa variação no Kc. Por outro lado, em condições de climas áridos ocorre o oposto, ou seja, a diferença na r_a de uma cultura agrícola comparada à cultura de referência causa um efeito mais acentuado na ETc (por conseguinte no Kc), pois ($e_s - e_a$) pode ter uma magnitude relativamente alta (ALLEN et al., 1998).

Conforme Allen et al. (1998), há duas possíveis formas de se determinar o K_c: na primeira, combinam-se os efeitos da transpiração da cultura e da evaporação do solo em um único coeficiente e na segunda, tais efeitos são abordados separadamente. Isto é, usam-se dois coeficientes, um referindo-se à contribuição da transpiração da cultura, chamado de coeficiente basal da cultura (K_{cb}) e outro para descrever a evaporação da superfície do solo (K_e), sendo o $K_c = K_{cb} + K_e$.

A esse respeito, Soares et al. (2001) estimaram os valores do coeficiente de cultura no estádio inicial a partir da evaporação direta da água do solo (Es) determinada pelo modelo de Ritchie e a ETo determinada pelo método da FAO Penman-Monteith. Para isso, utilizaram-se diferentes lâminas de irrigação e três diferentes texturas do solo cujos resultados mostraram

um aumento nos valores do Kc_{ini} de acordo com o conteúdo de água aplicado à camada superficial do solo.

Valores indicativos do Kc nos estágios inicial, intermediário e final de diversas culturas foram organizados pela FAO, inclusive para árvores frutíferas. Porém, é recomendado que para cada pesquisa sejam feitos ajustes com base nas condições climáticas da região e também de acordo com a variedade da cultura (ALLEN et al., 1998).

Devido a sua importância na determinação do consumo hídrico de culturas, pesquisas envolvendo o coeficiente de cultura são amplamente desenvolvidas em todo o mundo. Para o Brasil, tais estudos têm oferecido uma grande contribuição para a agricultura irrigada.

Através da obtenção da evapotranspiração de um pomar de videira cv. Itália, com três anos de idade, pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen e da evapotranspiração de referência pelos métodos de Penmann-Monteith e Tanque Classe A, em Petrolina-PE, Teixeira et al. (1999) determinaram o Kc ao longo das fases fenológicas da referida cultura, obtendo valores na faixa de 0,65 a 1,15.

Com o objetivo de determinar o consumo hídrico de um pomar de goiabeira cv. Paluma, localizado na região do Submédio do rio São Francisco, Petrolina-PE, Moura (2005) determinou a evapotranspiração da cultura segundo o método do balanço de energia baseado na razão de Bowen, a partir da qual obteve o coeficiente de cultura, cujo valor médio observado durante todo o ciclo produtivo foi de 0,77.

Em se tratando da cultura da bananeira, alvo do nosso estudo, Bassoi et al. (2004) estimaram o coeficiente de cultura para a cv. Pacovan, em Petrolina-PE, durante três ciclos fenológicos, no período de janeiro de 1999 a setembro de 2001. Para tanto, utilizaram os métodos da FAO-Penman-Monteith e do tanque Classe A na estimativa da ETo e balanço hídrico no solo para determinar a ETc, obtendo valores para o K_c de 0,8 ± 0,3 do 1º plantio até o final da fase vegetativa (211 dias após o plantio - DAP); 1,1 ± 0,4 durante a floração (212 a

333 DAP); 1,1 ± 0,5 na 1ª colheita até parte da 2ª floração (334 a 444 DAP); 1,0 ± 0,4 no período compreendendo o térmico da 2ª floração, início da 2ª colheita e início da 3ª floração (445 a 658) e 0,8 ± 0, 5 durante a 3ª colheita.

2.5 Eficiência do uso da água em culturas irrigadas

Nas regiões onde há escassez de água, é extremamente relevante encontrar meios de fazer uso da mesma, sem desperdício. Na agricultura irrigada, maior consumidor de água em escala global, identificar qual o método de irrigação mais apropriado para cada cultura, além de implementar ações que favoreçam ao bom desenvolvimento da cultura, porém visando reduzir a quantidade de água aplicada, são questões diretamente associadas ao uso eficiente da água.

A eficiência do uso da água (EUA) é definida pela relação entre a produção de matéria seca por unidade de área e a evapotranspiração ou o total de matéria seca por unidade de evapotranspiração ou a produtividade por unidade de área e a evapotranspiração ou ainda pela fotossíntese por unidade de água transpirada (SAMMIS et al., 2004).

Com relação à agricultura, geralmente a EUA é obtida por meio da razão entre a produtividade da cultura agrícola por unidade de área e a evapotranspiração da cultura (ou a quantidade de água aplicada).

Os resultados da eficiência do uso da água para a cultura do algodão, determinados por Ibragimov et al. (2007) em experimento na região de Tashkent, Uzbequistão, realizados em 2003, 2004 e 2005, mostraram diferenças significativas ao utilizar sistemas de irrigação diferentes. Na irrigação por gotejamento, a EUA foi de 0,78, 0,88 e 0,66 kg m^{-3}, enquanto que na irrigação por sulcos os valores foram 0,50, 0,46 e 0,50 kg m^{-3}.

Sammis et al. (2004) obtiveram a EUA para um pomar de nogueiras, localizado próximo a Las Cruces, Novo México, Estados Unidos, utilizando a relação entre a produtividade (baseado na produção de nozes) e a evapotranspiração da cultura. Para o ano de 2001, a EUA foi de 0,18 kg m^{-3} e para o ano de 2002, o resultado foi de 0,31 kg m^{-3}.

Por meio dessa mesma relação, Cruz (2003) obteve índices da EUA para a cultura de citrus, cv. Valência, em Piracicaba, SP que variaram entre 1,57 kg m^{-3} e 4,52 kg m^{-3}.

Valores da EUA entre 6,94 kg m^{-3} e 4,07 kg m^{-3} para a cultura da banana cv. Prata Anã e entre 11,89 kg m^{-3} e 7,46 kg m^{-3} para a cv. Grand Naine, utilizando o sistema de irrigação por microaspersão, foram obtidos por Coelho et al. (2006) no 3º ciclo da cultura, sob diferentes freqüência e lâmina de irrigação, em Nova Porteirinha, Minas Gerais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localidade

A microrregião do Baixo Jaguaribe está localizada no semi-árido do Estado do Ceará, que compreende os municípios de Aracati, Icapuí, Itaiçaba, Jaguaruana, Limoeiro do Norte, Morada Nova, Palhano, Quixeré, Russas, São João do Jaguaribe e Tabuleiro do Norte, com área total de 9.989,6 km² e 345.669 habitantes (Banco do Nordeste do Brasil, 2005).

Esta é uma região que tem se destacado pela fruticultura irrigada. Dentre os projetos públicos de irrigação, estão: o Projeto Morada Nova, com 3.600 ha; o Projeto Jaguaribe/Apodi, com 5.000 ha e o Projeto Tabuleiros de Russas, com 10.600 ha. Além destes, há outros grandes projetos privados de irrigação. Com relação às áreas irrigadas, a fruticultura é predominante, com ênfase para as culturas de mamão, banana, melão, coco, manga, acerola, uva, graviola, goiaba, pinha e limão (Idem).

É nesse contexto que está inserida a área de estudo da presente pesquisa, localizada na Fazenda Frutacor (5º 4’ 35” S; 37º 51’ 54” O; 131 m), em Quixeré, Ceará, conforme ilustram as Figuras 1 e 2.

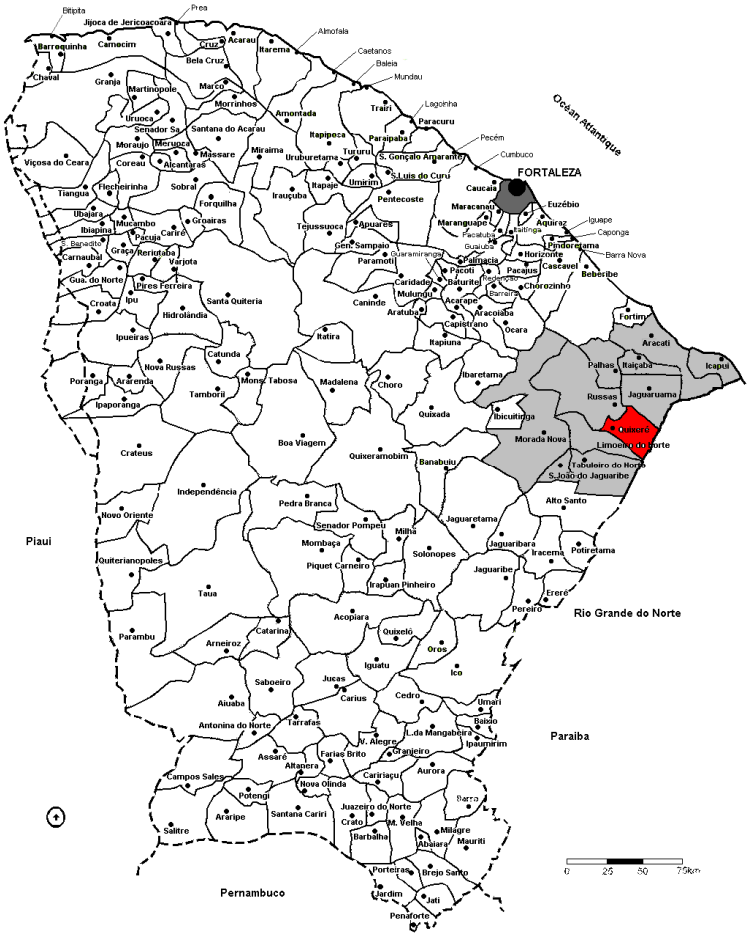

Figura 1: Mapa do Estado do Ceará, com destaque para a microrregião do Baixo Jaguaribe (cinza) e para o município de Quixeré (vermelho).

Figura 2: Área experimental: Fazenda Frutacor, Quixeré, CE, com destaque para o local onde foram colocados os sensores. A seta indica a direção do vento dominante.

O clima da região é quente e semi-árido, classificado como BSw'h' (Meireles et al., 2003 apud Köppen) e o solo é do tipo Cambissolo de textura argilosa e franco-argilosa (informação da Fazenda Frutacor).

3.2 Descrição da cultura estudada

Dentre as várias fruteiras produzidas na área de estudo, está um pomar de bananeiras com espaçamento em fileiras duplas de 4,0 m x 2,0 m x 2,4 m, onde são cultivadas as variedades Pacovan (*Musa sp.*, AAB) e Pacovan Apodi (*Musa sp.,* AAAB), além de outras variedades (Gros Michel, Grand Nine, Pacovan Ken e Terrinha), mas em áreas muito pequenas, sem escala comercial, conforme ilustrado na Figura 2.

A área plantada da cv. Pacovan era de 51 ha e da cv. Pacovan Apodi, 96 ha, totalizando 147 ha. A altura das plantas é de 10 a 11 m e de 6 a 7 m, respectivamente. O estudo foi realizado numa parcela de 3 ha, plantada em setembro de 2000, cultivada com Pacovan Apodi, com 4255 plantas, cuja densidade era 1418 plantas/ha.

A Pacovan Apodi (ou Prata Graúda) é um híbrido da Prata Anã, cuja capacidade produtiva é considerada boa. Possui um pseudocaule muito vigoroso, de cor verde clara, brilhante e poucas manchas escuras próximo à roseta foliar. A Pacovan Apodi é uma cultivar de porte médio a alto, cujo cacho é maior e menos cônico que o da Prata Anã. Seus frutos possuem sabor semelhante aos da Prata Anã, porém são maiores que aqueles desta cultivar. Com relação a doenças, é susceptível à Sigatoka-negra, medianamente susceptível à Sigatoka-amarela e resistente ao Mal-do-Panamá (EMBRAPA, 2003).

Figura 3: Vista do pomar de bananeiras cv. Pacovan Apodi: Fazenda Frutacor, Quixeré, Ceará.

Figura 4: Vista superior do pomar de bananeiras: Fazenda Frutacor, Quixeré, Ceará.

3.3 Irrigação

A irrigação do pomar era feita por meio do método de gotejamento, com distribuição de 3 gotejadores por planta, cuja vazão era de 3,5 L/h. No período de setembro de 2005 a fevereiro de 2006, foram aplicados diariamente 9,5 mm de água, parcelados em dois pulsos, um no início do dia e outro no início da noite. Na época chuvosa, a lâmina de irrigação, assim como o turno de rega, variou conforme as precipitações. Houve casos em que a irrigação era semanal, com aplicação de 25 mm, distribuídos num período de 10 h. Assim como houve dias cuja lâmina aplicada foi de 7,5 mm.

3.4 Instrumentos utilizados

Para esta pesquisa utilizaram-se os seguintes instrumentos: um anemômetro sônico 3D modelo CSAT3 (Campbell Scientific Inc., Logan, EUA), posicionado na direção do vento dominante (sudeste), que mediu a velocidade do vento nos três eixos (u, v, w) e a temperatura do ar (temperatura virtual sônica); um sensor HMP45C (Vaisala, Finlândia), que mediu a umidade relativa e a temperatura do ar; um analisador de CO_2/H_2O LI-7500 (LI-COR, Lincoln, EUA) que obtinha a concentração de vapor d'água e de gás carbônico, e um saldo radiômetro modelo CNR1 (Kipp & Zonen B.V., Delft, Holanda) para medir os componentes do balanço de radiação . Para a medição do fluxo de calor no solo utilizaram-se duas placas de fluxo de calor modelo HFP01SC (Hukseflux Thermal Sensors, Delft, Holanda) dispostas a 0,02 m de profundidade, sendo usada a média de seus valores.

Os sinais elétricos foram armazenados em um sistema de aquisição de dados, modelo CR23X (Campbell Scientific, Inc., Logan, EUA), programado para coletar os dados com freqüência de 10 Hz e extrair médias e covariâncias a cada 10 min durante o período de 2 de

setembro de 2005 a 8 de fevereiro de 2006, com modificações para intervalo de tempo de 20 min em 8 de fevereiro de 2006 e para intervalo de tempo de 30 min a partir de 3 de março de 2006. Os instrumentos foram instalados a uma altura de 8 m, dispostos em uma torre micrometeorológica colocada no centro da área de estudo.

3.5 Coleta e correção dos dados

A coleta de dados teve início no dia de ordem do ano 245 (2/09/2005) e decorreu até o dia 351 (17/12/2005), ocorrendo uma interrupção do dia 352 ao dia 09 do ano seguinte (2006), do dia 33 ao dia 38 e entre os dias 157 e 160 apenas para dados de radiação. Isto se deu devido à falha na coleta dos dados. Supõe-se que o motivo foi ocorrência de sobreposição dos dados, por ocasião da capacidade da memória da unidade de aquisição de dados. O mesmo ocorreu na estação automática cujos dados foram utilizados para a determinação da evapotranspiração de referência. Para esta estação, porém, os dias de ausência de dados foram 245 a 265 (2005), 10 a 13, 63 a 67, 95 a 137 (2006). Por esse motivo, foram utilizados dados de uma estação meteorológica da FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) localizada no município de Quixeré, a 12 km da área de estudo.

Na análise de consistência dos dados de alta freqüência, considerou-se que as medições obtidas com direção do vento fora do raio de 180º centrado na direção predominante do vento localmente, deveriam ser inspecionadas. Nesse sentido, os dados considerados consistentes foram aqueles inseridos na faixa de direção do vento entre 45º e 225º. Para horários cuja direção do vento estivesse fora dessa faixa, optou-se por fazer uma média entre os valores anteriores e posteriores. Os dias nos quais se aplicou esse critério foram os dias de ordem do ano 42, 52, 60, 70, 86, 88, 117, 129, 132, 140 e 144. Metodologia

semelhante foi utilizada por Simmons et al. (2006) para obter dados faltosos do fluxo de calor latente para período inferior a 1 hora.

Figura 5: Torre micrometeorológica instalada no centro do pomar de bananeiras na Fazenda Frutacor, em Quixeré, Ceará.

Figura 6: Anemômetro sônico 3D modelo CSAT3, instalado sobre a copa do bananal.

Figura 7: Sensor HMP45C, instalado sobre a copa do bananal.

Figura 8: Analisador de CO_2/H_2O LI-7500, instalado sobre a copa do bananal.

Figura 9: Saldo radiômetro modelo CNR1, instalado sobre a copa do bananal.

A aplicação do método das correlações turbulentas pressupõe a existência de uma superfície homogênea e suficientemente extensa, para que possa garantir um *fetch* adequado

para as medições (distância entre o local de medição e o extremo/borda da parcela de ar). Nesse trabalho, essa distância foi determinada a partir de imagem de satélite da área de estudo (Figura 2) retirada do software Google Earth 2007. Na tabela 1 está disposto o *fetch* para cada direção do vento, com destaque para a direção do vento dominante.

A indicação da razão entre a altura de medição e o *fetch* igual ou inferior a 1:100 é geralmente feita na literatura (Tanner et al., 1988; Schmid, 2002) De acordo com a Tabela 1, percebe-se que essa razão foi satisfeita, já que a altura de medição foi 8 m.

Tabela 1: Indicação do *fetch* para cada direção do vento

Direção do vento	***Fetch* (m)**
Sudeste	1150
Noroeste	900
Norte	850
Sudoeste	740
Nordeste	730
Leste	640
Oeste	630
Sul	550

3.6 Medidas dos fluxos turbulentos

O fluxo de calor latente (LE) foi obtido segundo a técnica das correlações turbulentas, cuja equação, descrita na Seção 2.3.1, envolve a covariância entre os valores das flutuações da velocidade vertical do vento (w') e da concentração de vapor d'água (q') (Paço et al., 2006; Simmons et al., 2006; Tanny et al., 2006), que foram medidos no nível de 8 m.

A medição do fluxo de calor sensível (H) foi realizada pelo mesmo sistema. A equação para determinar sua densidade, descrita na Seção 2.3.1, envolve a covariância entre os valores das flutuações da velocidade vertical do vento (w') e da temperatura do ar (T'),

medidos também no nível de 8m. A temperatura do ar utilizada foi aquela medida pelo anemômetro sônico 3D (temperatura virtual sônica).

A partir da densidade do fluxo de calor latente, obteve-se a evapotranspiração da cultura da bananeira, por meio da seguinte expressão:

$$ETc = \frac{LE}{L_v}.\Delta t \qquad \text{(mm)} \qquad (3.1)$$

onde L_v é o calor latente de vaporização (J kg^{-1}) e Δt (s) o intervalo de tempo no qual as médias do LE foram geradas e armazenadas (10 min, 20 min e 30 min). A evapotranspiração real diária (mm dia^{-1}) foi, então, obtida através da totalização dos valores determinados pela equação acima.

3.7 Saldo de radiação e fluxo de calor no solo

O saldo de radiação (Rn) foi medido por meio de um saldo radiômetro (Modelo CNR1, da Kipp & Zonen B.V., Delft, Holanda) instalado sobre a copa do bananal, a 8 m de altura (Figura 9).

Para a medição do fluxo de calor no solo foram utilizadas duas placas de fluxo de calor (Modelo HFP01SC, da Hukseflux Thermal Sensors, Delft, Holanda) dispostas a 0,02 m de profundidade, sendo usada a média de seus valores. Tais placas foram colocadas próximo aos gotejadores, e como o solo desta área estava sempre úmido os valores de G foram inferiores àqueles considerados para a região. Por este motivo G também foi estimado a partir do saldo de radiação, segundo as equações expressas por Allen et al. (1998). Para o período diurno utilizou-se a Equação 3.2, enquanto que para o período noturno a Equação 3.3, conforme descritas abaixo:

$$G = 0{,}1\ Rn \qquad (W\ m^{-2}) \tag{3.2}$$

$$G = 0{,}05\ Rn \qquad (W\ m^{-2}) \tag{3.3}$$

3.8 Evapotranspiração de referência e coeficiente de cultura

Com os dados obtidos com uma estação automática (ET106) localizada na área de estudo estimou-se a evapotranspiração de referência (ETo) diária por meio do método da FAO Penmann-Monteith (Equação 2.4), descrito no capítulo anterior.

De posse dos valores diários da ETc e ETo, determinou-se o coeficiente de cultura para a bananeira, cuja abordagem utilizada foi aquela de um único K_c, sugerida para períodos semanais ou mais extensos, como também diários, qual seja:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \tag{3.4}$$

3.9 Eficiência do uso da água

Com os dados de produtividade obtidos a partir dos registros da Fazenda Frutacor, área de estudo, determinou-se a Eficiência do Uso da Água – EUA para a bananeira através da relação entre a produtividade e a evapotranspiração da cultura, para todo o período analisado, isto é, setembro de 2005 a setembro de 2006, segundo expressão:

$$EUA = \frac{P}{ET_c} \tag{3.5}$$

em que P representa a produtividade (t ha^{-1}) e ETc a evapotranspiração do bananal (mm dia^{-1}).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características climáticas da área de estudo

Na Tabela 2 são apresentados os resultados mensais das principais variáveis meteorológicas medidas no período de estudo. Em dezembro de 2005 e janeiro de 2006 não foram considerados todos os dias, pois entre 18 de dezembro e 9 de janeiro houve interrupção nas medições devido a problemas na coleta dos dados, conforme mencionado no capítulo anterior (Seção 3.5). O mesmo aconteceu nos períodos de 2 a 7 de fevereiro e 6 a 9 de junho. Além disso, os dados de precipitação pluviométrica foram coletados da estação meteorológica da FUNCEME, localizada em Quixeré, a 12 km da área de estudo, devido a mau funcionamento do pluviômetro da estação automática ET106.

O menor valor médio da temperatura foi registrado no mês de julho (27,7 °C), porém, observa-se que a partir de abril já houve um decréscimo nos seus valores, permanecendo assim até agosto. Associados à temperatura do ar estão a umidade relativa, que apresentou um aumento nas suas médias mensais no período de fevereiro a julho, registrando o valor máximo em abril (82,3 %); ocorrência de chuvas, com registro de maior intensidade nos meses de fevereiro e abril e a radiação solar (Rg), que para esse mesmo período apresentou valores

relativamente menores, com mínimo de 17,6 MJ m^{-2} dia^{-1} observado em abril e junho. O maior valor médio da Ta foi registrado em janeiro (30,3 °C), o qual está relacionado à baixa umidade relativa do ar, com média para este mês de 58,7 % e à radiação solar, cujos valores no período de setembro de 2005 a janeiro de 2006 se apresentaram mais elevados, com a maior média observada em outubro (24,2 MJ m^{-2} dia^{-1}).

Com relação à evolução da velocidade do vento (u), observa-se que houve estabilidade no período de setembro (2005) a janeiro, com valores médios mensais entre 2,3 e 2,5 m s^{-1}, assim como no período de fevereiro a julho, com valores entre 1,2 e 1,8 m s^{-1}. O decréscimo nos valores registrados a partir de fevereiro está relacionado à temperatura do ar e à umidade relativa. A menor média mensal da velocidade do vento ocorreu em abril, com valor de 1,2 m s^{-1}.

Tabela 2: Médias mensais obtidas durante o período experimental da temperatura do ar (Ta), Precipitação pluviométrica (Pr), velocidade do vento (u), pressão atmosférica (Po), umidade relativa (UR) e radiação solar (Rg)

Ano	**Mês**	**Ta (°C)**	**$Ta_{mín}$ (°C)**	**$Ta_{máx}$ (°C)**	**Pr (mm)**	**v (m s^{-1})**	**Po (kPa)**	**UR (%)**	**Rg (MJ $m^{-2}dia^{-1}$)**
2005	Set	28,5	20,09	37,01	0	2,3	96,7	60,3	23,2
2005	Out	29,2	21,07	37,29	0	2,5	96,6	58,7	24,2
2005	Nov	29,7	21,47	37,14	0	2,5	96,5	58,1	23,8
2005	Dez	29,8	22,36	37,03	0	2,4	96,3	62,7	22,6
2006	Jan	30,3	23,61	38,15	0	2,3	96,3	58,7	21,8
2006	Fev	29,8	24,95	36,55	251,4	1,8	92,3	71,0	19,9
2006	Mar	29,2	24,43	36,13	104,8	1,5	96,2	78,0	19,8
2006	Abr	28,8	24,15	35,5	211,2	1,2	96,1	82,3	17,6
2006	Mai	28,5	22,93	34,34	111,2	1,3	96,4	80,7	18,3
2006	Jun	27,8	22,01	33,53	105,6	1,5	96,7	74,9	17,6
2006	Jul	27,7	18,8	35,29	34,2	1,6	96,9	71,1	19,6
2006	Ago	28,2	19,97	35,9	15	2,0	97,0	64,4	20,3
2006	Set	29,1	21,64	36,85	0	2,3	97,1	59,9	22,9
	Total	-			**833,4**	-	-	-	-

$Ta_{máx}$ e $Ta_{mín}$ se referem aos valores máximo e mínimo da temperatura registrados em cada mês.

4.2 Saldo de radiação, temperatura do ar, velocidade do vento e déficit de pressão de vapor

O Semi-árido brasileiro se caracteriza por uma maior disponibilidade de energia presente no decorrer de todo o ano. Isto é observado na Figura 10A-D, que exibe o saldo de radiação acumulado ao longo do dia sobre a superfície do bananal. Para o primeiro período analisado (Figura 10A), os valores de Rn estiveram na faixa de 9,8 a 15 MJ m^{-2} dia^{-1}, cuja evolução é semelhante ao período de julho a setembro de 2006 (Figura 10D), com valores entre 8 e 14,6 MJ m^{-2} dia^{-1}. Valores inferiores são observados nos períodos de janeiro a março de 2006 (6 MJ m^{-2} dia^{-1}) e abril a junho de 2006 (5,6 MJ m^{-2} dia^{-1}). Além disso, um valor máximo de cerca de 17 MJ m^{-2} dia^{-1} foi verificado para ambos os períodos.

As maiores médias diárias do déficit de pressão de vapor (DPV) foram registradas entre setembro de 2005 e fevereiro de 2006 (conforme revela a Figura 10A-B), com valores compreendidos entre 1,0 e 2,5 kPa. A partir de março de 2006 houve um decréscimo nesses valores, que se prolongou até julho. No período de abril a junho de 2006 (Figura 10C) observam-se os menores valores, os quais estão entre 0,4 e 1,5 kPa. Esse decréscimo está relacionado à redução dos valores médios diários da temperatura do ar, como pode ser observado na mesma figura.

A evolução da velocidade do vento se apresentou de modo semelhante ao DPV, com valores maiores no período de setembro de 2005 a fevereiro de 2006, ocorrendo a partir daí uma queda, tornando a aumentar a partir de agosto de 2006. Para o período de maiores valores, a velocidade do vento esteve entre 1,8 e 3,2 m s^{-1} e para o período de menores valores, essa faixa foi de 0,7 e 2,1 m s^{-1}, conforme ilustra a Figura 10A-D.

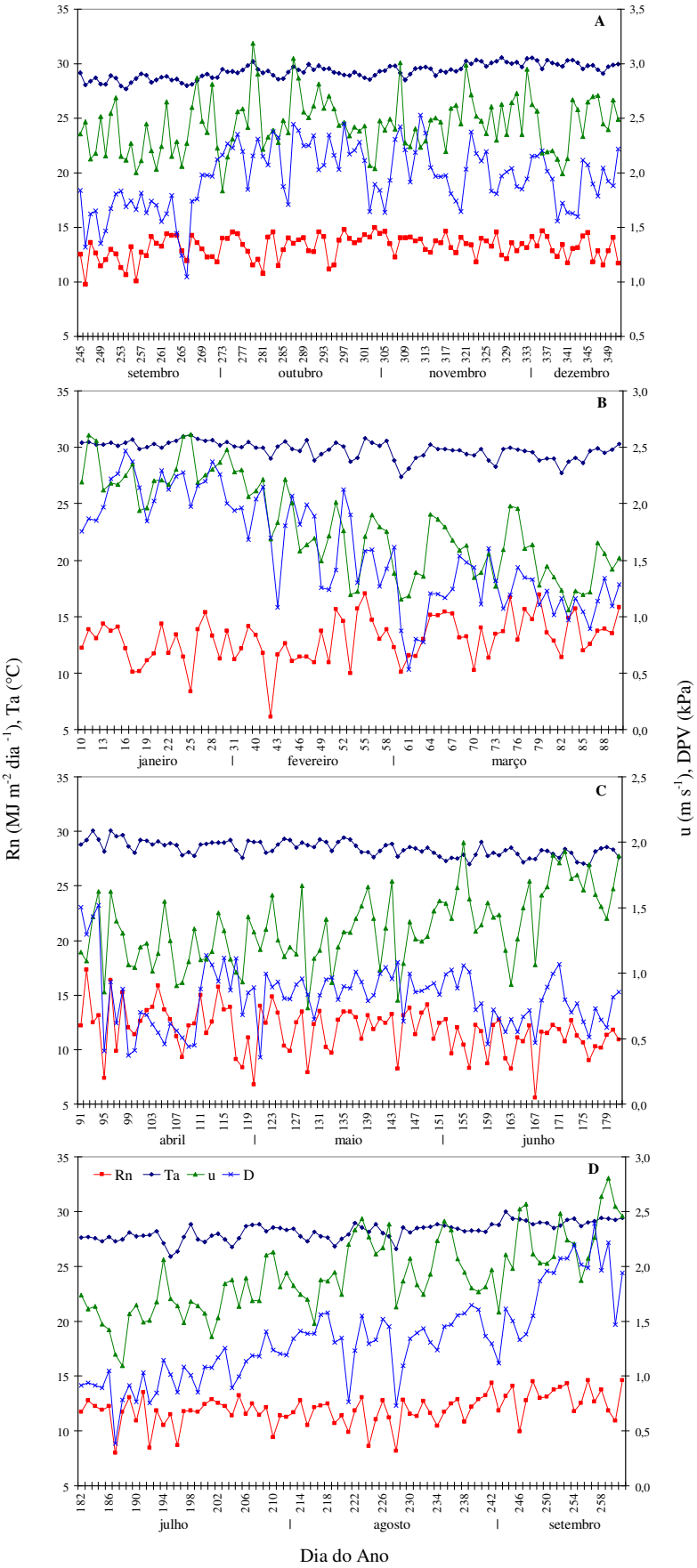

Figura 10: Evolução de Rn acumulado ao longo do dia e dos valores médios diários da temperatura do ar (Ta), do déficit de pressão de vapor (DPV) e da velocidade do vento (u) para todo o período experimental.

4.3 Medição da evapotranspiração

4.3.1 Evolução diária do fluxo de calor latente

Na Figura 11 são apresentados os resultados obtidos para a densidade do fluxo de calor latente (LE).

Do período estudado em 2005 (Figura 11A-B), escolheram-se os dias 275, 276, 303, 304 e 305, dos quais o valor máximo registrado foi de 420,4 W m^{-2}, notificado no dia 275 (02/09/2005). No período analisado em 2006 (Figura 11C-D), escolheram-se os dias 75, 76, 77, 114, 115 e 116, dos quais o valor máximo (407,7 W m^{-2}) foi registrado no dia 114 às 14h.

Além dos valores de LE calculados (LE_ct), estimou-se também este fluxo como resíduo da equação do balanço de energia (LE_res). A Figura 12 exibe uma comparação entre os valores diários de LE medido (LE_ct) e estimado (LE_res) para 10 dias de cada mês do período experimental, considerando os valores medidos entre 8:00 e 16:00 h. Os dados mostram que o LE_ct foi subestimado quando comparado com o LE_res em cerca de 40% (1 - declividade).

Valores subestimados do fluxo de calor latente obtidos pelo método das correlações turbulentas foram registrados em muitos experimentos de campo e entre diferentes fabricantes de instrumentos (Twine et al., 2000). Provavelmente, o mesmo ocorreu com os dados do LE_ct da presente pesquisa. O que motiva as diferenças entre LE_ct e LE_res é o forçamento do fechamento do balanço de energia.

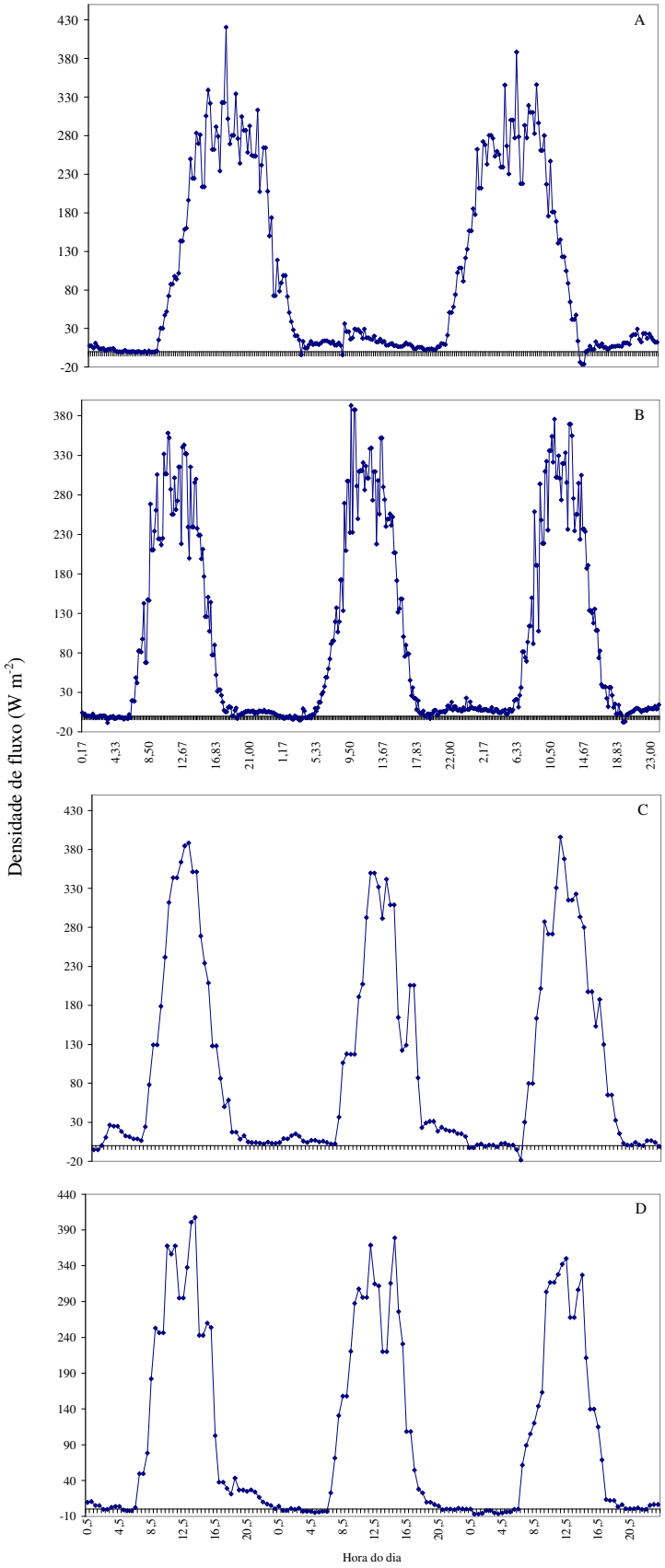

Figura 11: Densidade de fluxo de calor latente para os dias 275 e 276 (2005) (A); dias 303, 304 e 305 (2005) (B); dias 75, 76,77 (2006) (C) e dias 114, 115, 116 (2006) (D).

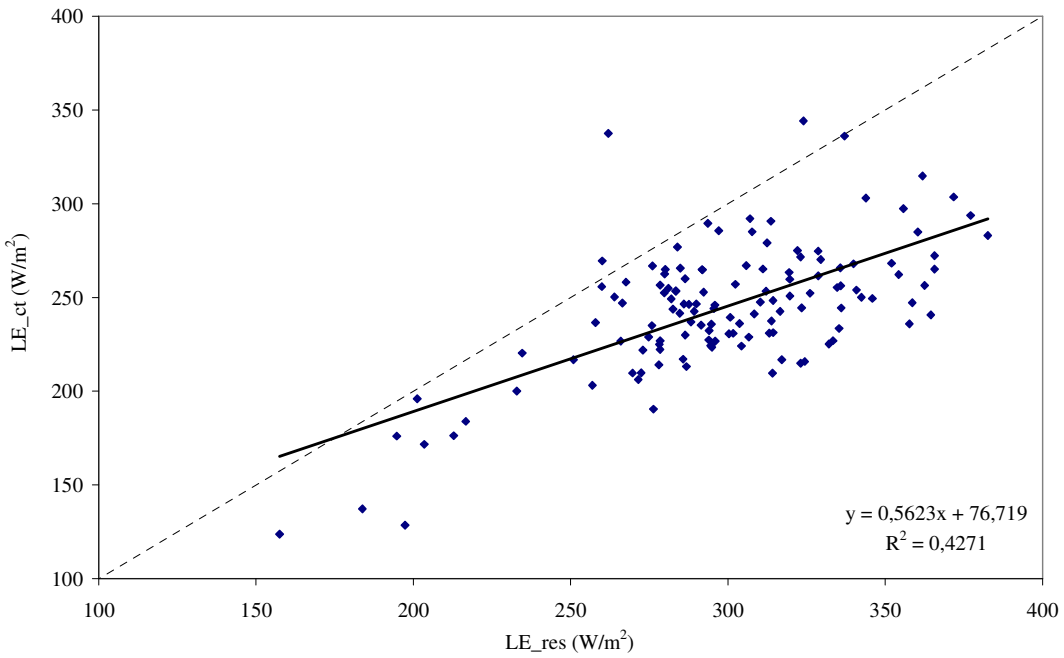

Figura 12: Fluxo de calor latente obtido pelo método das correlações turbulentas (LE_ct) *versus* fluxo de calor latente estimado pela equação do balanço de energia (LE_res).

4.3.2 Evapotranspiração da cultura e Evapotranspiração de referência

A partir das medições do fluxo de calor latente, efetuadas com o Método das Correlações Turbulentas, obteve-se a evapotranspiração diária da cultura, cujos resultados são exibidos na Figura 13. A evapotranspiração medida (ETc_ct) durante todo o período de estudo variou entre 1,67 e 4,53 mm dia^{-1}, com média de 3,40 mm dia^{-1}. Nesta mesma figura também são exibidos valores diários da ETc obtidos a partir do LE residual, isto é, por meio da equação do balanço de energia, que variou entre 1,77 e 5,68 mm dia^{-1}, com valor médio de 3,55 mm dia^{-1}.

Observa-se que nos períodos compreendidos entre os dias 245 (02/09/2005) e 267 (24/09/2005) e 29 (29/01/2006) e 168 (17/06/2006), houve uma sobreestimativa dos valores da ETc_res comparados aos valores da ETc_ct de cerca de 7% para o primeiro período e 14% para o segundo. Por outro lado, no período entre dias 268 (25/09/2005) e 28 (28/01/2006), ETc_ct sobreestimou ETc_res em cerca de 12%. Ocorreu uma boa concordância entre os

valores dessas variáveis apenas a partir do dia 169 (18/06/2006), com sobestimativa de ETc_ct de 1%.

Em pesquisa realizada pela EMBRAPA em Petrolina – PE, durante os três primeiros ciclos de cultivo de banana cv. Pacovan, irrigada por microaspersão, obteve-se um consumo médio diário, por meio do método de balanço hídrico no solo, de 3,9 mm dia^{-1}, 4,0 mm dia^{-1} e 3,0 mm dia^{-1}, respectivamente (BASSOI et al., 2001). Tais resultados indicam boa concordância com os desse estudo.

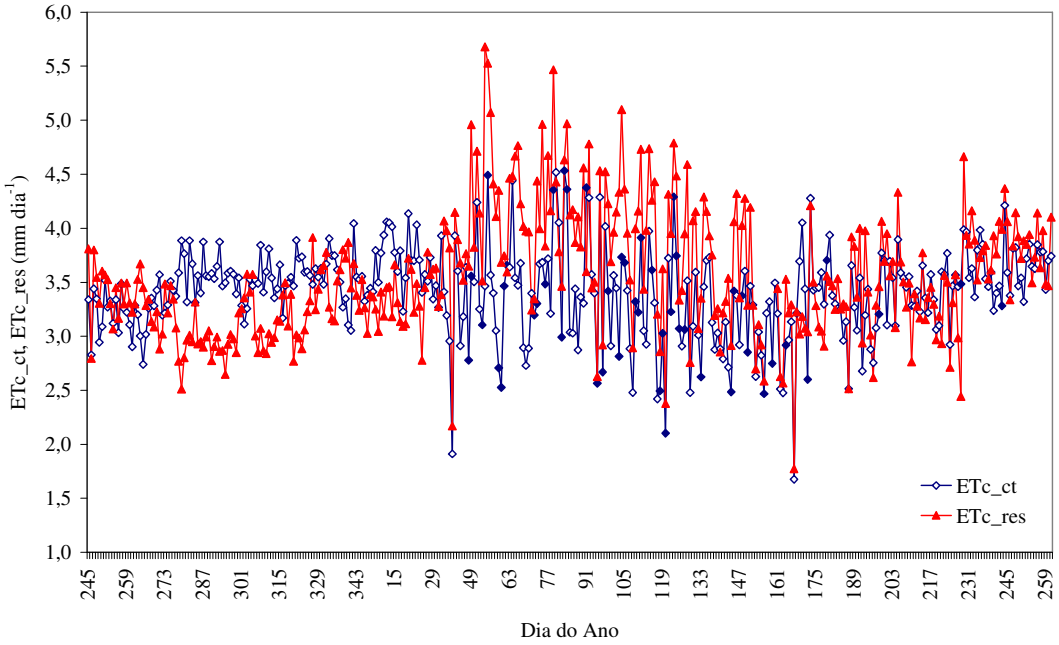

Figura 13: Evolução da ETc_ct e ETc_res em pomar de bananeiras, no município de Quixeré – CE, no período de setembro de 2005 a setembro de 2006. Os marcadores da série de dados da ETc_ct que estão cheios correspondem aos dias chuvosos.

A evapotranspiração de referência (ETo) (Figura 14) variou entre 1,7 mm dia^{-1} (dia 167, 16/06/2006) e 7,6 mm dia^{-1} (dia 288, 15/10/2005), com valor médio de 5 mm dia^{-1}. Pode-se observar que a partir do dia 41 (10/02/2006), a ETo decresce até o dia 167 (16/06/2006). Em seguida torna a aumentar até o dia 245, quando tende a estabilizar-se. Essa queda nos valores da evapotranspiração de referência coincidiu com o período de chuvas da localidade

(ver Tabela 2), que ocasiona uma redução na demanda evaporativa. Evolução semelhante é percebida nos valores do déficit de pressão de vapor e da velocidade do vento (ver Figura 10).

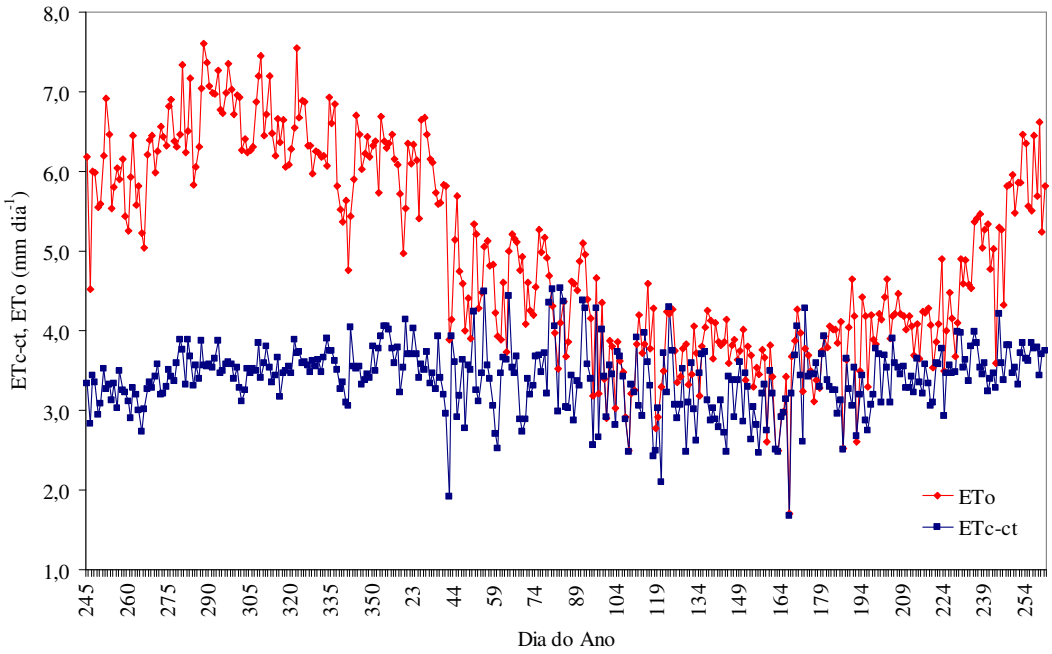

Figura 14: Evolução da ETo e ETc_ct em pomar de bananeiras, no município de Quixeré – CE, no período de setembro de 2005 a setembro de 2006.

4.3.3 Coeficiente de cultura

A Figura 15 apresenta as curvas do coeficiente de cultura da bananeira obtido a partir da evapotranspiração da cultura medida (Kc_ct) e a partir da evapotranspiração da cultura estimada pela equação do balanço de energia (Kc_res), cujos pontos são médias de sete dias.

Os dados do Kc_ct assim como aqueles do Kc_res ajustaram a um polinômio de 3ª ordem (Sammis et al., 2004), onde as equações e os coeficientes de determinação R^2 são exibidos abaixo:

$$Kc_ct = -3.10^{-5}x^3 + 0{,}0017x^2 - 0{,}0176x + 0{,}5657 \qquad R^2 = 0{,}88$$

$$Kc_res = -4.10^{-5}x^3 + 0{,}0022x^2 - 0{,}0176x + 0{,}525 \qquad R^2 = 0{,}80$$

em que x representa as semanas após o início das medições.

Os valores do Kc_res são maiores em comparação ao Kc_ct, além de indicarem uma maior variabilidade. Essa mesma diferença foi observada nos valores do LE_res e do LE_ct, exibidos na Seção 4.3.1. Com relação ao Kc_ct, seus valores parecem ser mais consistentes.

Devido ao fato de que é próprio da cultura da bananeira que o florescimento de algumas plantas ocorre em conjunto com o lançamento dos cachos de outras (desenvolvimento conjunto de plantas de ciclos diferentes), não houve homogeneidade no período de formação dos cachos e, consequentemente, na colheita. Isto é percebido na evolução da ETc, cujos valores não variaram consideravelmente no decorrer do período de medição, com exceção do período chuvoso. Nesse sentido, o aumento nos valores do Kc observado a partir da 20ª semana (indicação da seta) se deu principalmente devido ao decréscimo nos valores da ETo, como observado na Figura 14. O valor mínimo obtido foi de 0,55 e o máximo 1,0.

Allen et al. (1998) sugerem valores de 0,5 (fase inicial), 1,1 (fase intermediária) e 1,0 (fase final), considerando o 1º ciclo de produção de um bananal e 1,0 (fase inicial), 1,2 (fase intermediária) e 1,1 (fase final), para o 2º ciclo.

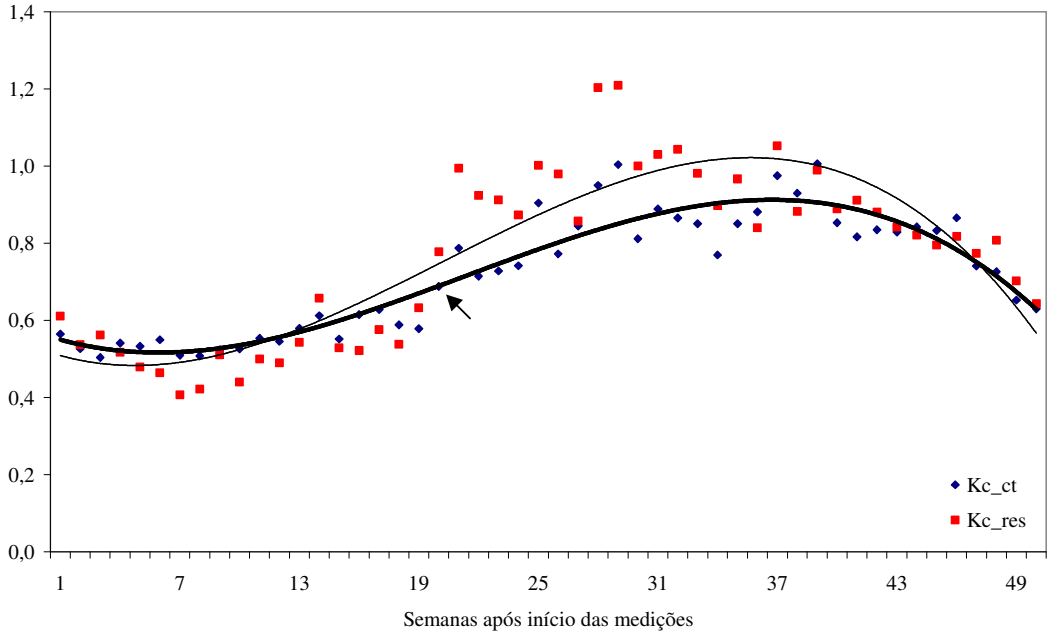

Figura 15: Curva do coeficiente de cultura para um pomar de bananeiras, Quixeré – CE, no período de setembro de 2005 a setembro de 2006. A curva com linha de maior espessura representa o Kc_ct.

4.4 Balanço de energia da superfície

4.4.1 Evolução diária e dados mensais

A variação ao longo do dia dos componentes do balanço de energia é apresentada nas Figuras 16 e 17, para o período estudado em 2005 e 2006, respectivamente. Escolheram-se alguns dias considerados de céu claro e outros com nebulosidade. Frequentemente, os valores máximos de Rn estiveram entre 600 e 800 W m^{-2} e ocorreram, em geral, entre 11:00 e 12:30 h. Dentre os dias escolhidos de 2005, visualmente observa-se incidência de nuvens nos dias 247 (4/09/05), 257 (14/09/05), 284 (11/10/05), 325 (21/11/05) e 350 (16/12/05) e com relação aos dias escolhidos de 2006, observa-se ausência de nebulosidade nos dias 183 (2/07/06) e 223 (11/08/06). Dentre esses dias, registrou-se ocorrência de chuva apenas no dia 59 (28/02/06), com precipitação de 107,8 mm.

O valor máximo de LE, em geral, situou-se entre 300 e 450 W m^{-2}, ocorridos, com freqüência, entre 9:30 e 14:00 h. Porém, houve alguns dias em que se registrou o valor máximo por volta das 10:00 h, decrescendo em seguida até as 14:00 h, voltando a aumentar até cerca de 15:00 h.

Quanto à densidade de fluxo de calor sensível (H), seu valor máximo geralmente esteve entre 250 e 400 W m^{-2}, registrados também entre as 9:30 e 14:00 h.

A evolução do fluxo de calor no solo (G) se apresentou de forma semelhante a LE e H, com valores máximos ocorrendo em geral entre 11:00 e 13:00 h, os quais estiveram na faixa de 35 a 80 W m^{-2}.

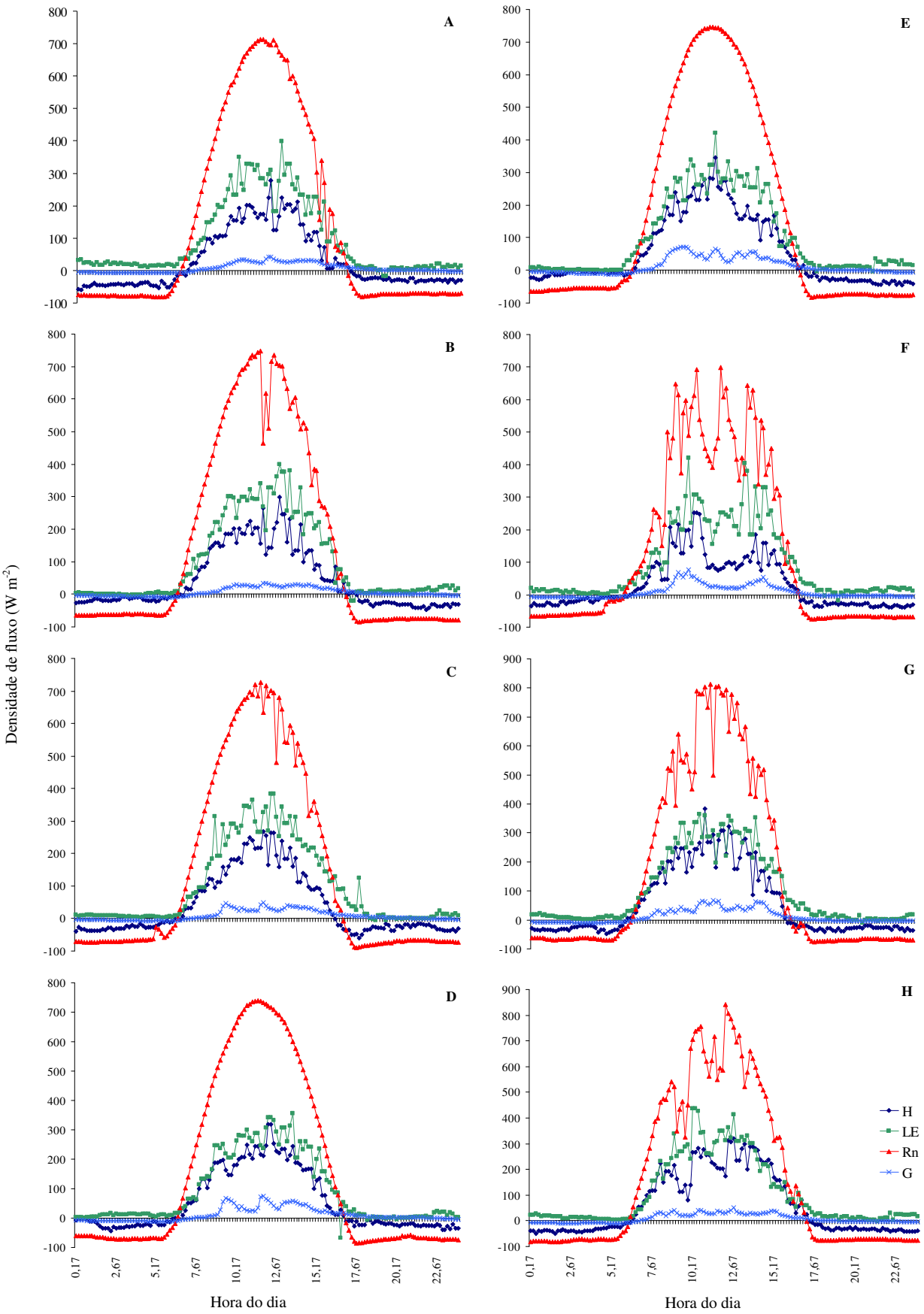

Figura 16: Variação ao longo do dia do saldo de radiação, dos fluxos de calor sensível, calor latente e calor no solo para os dias selecionados em 2005 (245, 247, 257, 259, 275, 284, 325 e 350).

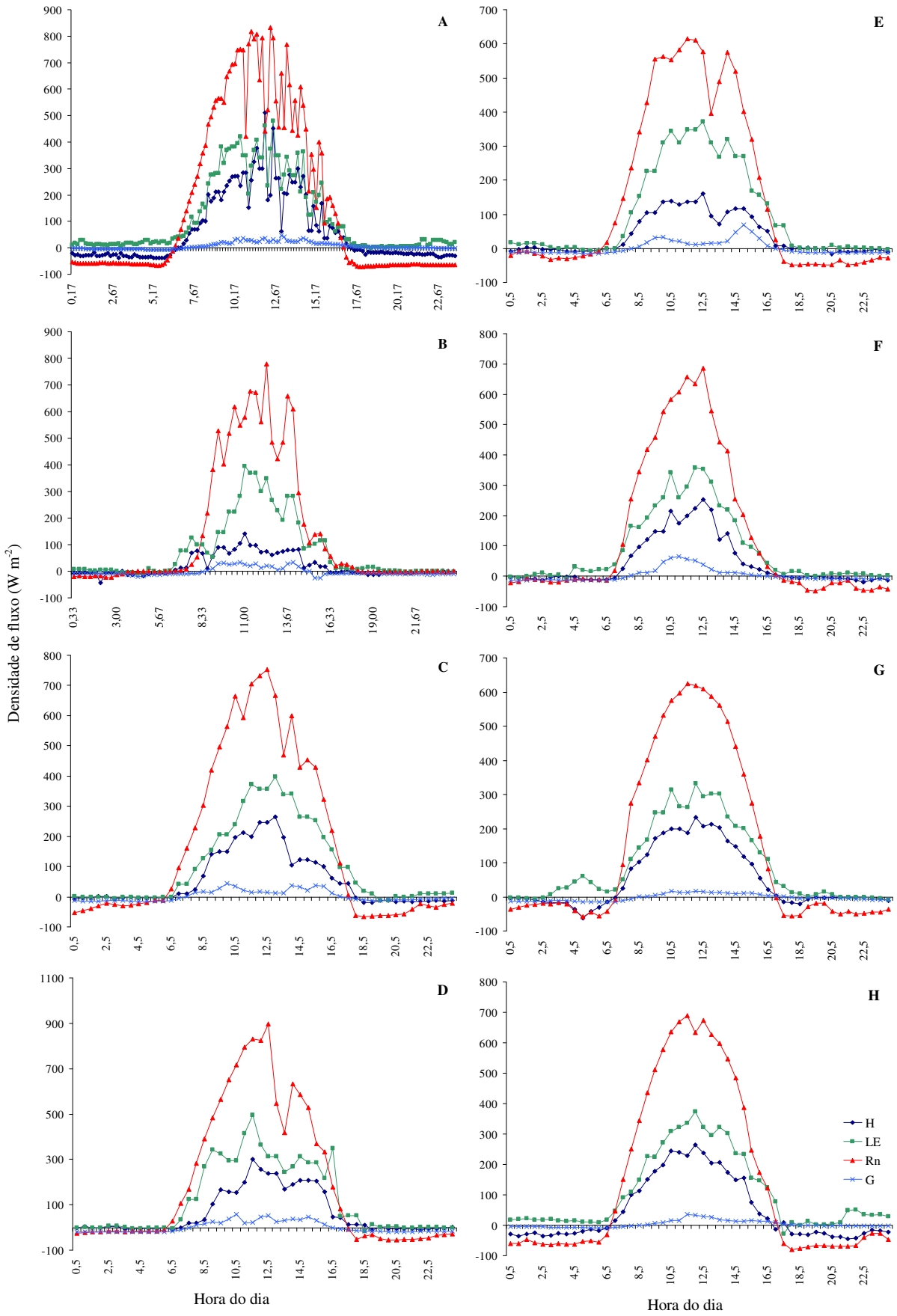

Figura 17: Variação ao longo do dia do saldo de radiação, dos fluxos de calor sensível, latente e calor no solo para os dias selecionados em 2006 (11, 59, 67, 92, 131, 166, 183 e 223).

Os valores médios mensais para os principais componentes da equação do balanço de energia de todo o período estudado são apresentados na Tabela 3. O saldo de radiação variou entre 125 e 158 W m^{-2}, o LE esteve na faixa de 90 a 105 W m^{-2}, o H compreendeu entre 29 e 56 W m^{-2} e o G medido pelas placas de fluxo de calor registrou médias mensais entre -1,6 e 14 W m^{-2}, enquanto que o estimado variou de 13,1 a 17,2 W m^{-2}.

Tabela 3: Valores médios mensais do saldo de radiação (Rn), fluxo de calor no solo (G), fluxo de calor latente (LE) e fluxo de calor sensível (H).

Ano	Mês	Nº de dias*	Rn (W m^{-2})	G_medido (W m^{-2})	G_estimado (W m^{-2})	LE (W m^{-2})	H (W m^{-2})
2005	Setembro	**	146,9	9,7	16,3	91,0	42,2
	Outubro	**	155,8	14,0	17,2	100,1	55,9
	Novembro	**	155,8	10,8	17,1	101,6	54,2
	Dezembro	17	151,4	7,5	16,6	98,7	46,7
2006	Janeiro	22	144,7	6,1	15,4	105,0	42,5
	Fevereiro	22	145,7	0,8	15,1	94,7	28,9
	Março	**	158,2	0,6	16,5	99,1	38,8
	Abril	**	143,6	-1,3	14,7	93,4	35,3
	Maio	**	141,7	0,1	14,7	90,9	35,2
	Junho	26	124,9	2,2	13,1	90,2	36,2
	Julho	**	134,0	-1,6	14,4	93,4	38,0
	Agosto	**	136,2	2,0	14,9	99,2	33,4
	Setembro	18	151,4	3,8	16,6	104,4	38,8

* Dias de cada mês nos quais não se registrou falhas nas medições.
** Mês no qual não ocorreu falha nas medições

4.4.2 Partição do saldo de radiação entre os componentes do balanço de energia

Na Figura 18 observa-se a variação diária das razões LE/Rn, H/Rn e G_{medido}/Rn para alguns todos os dias do período experimental. A razão LE/Rn variou entre 0,5 e 0,92, com valor médio de 0,68. Quanto à razão H/Rn, seus valores estiveram na faixa de 0,13 a 0,44, cuja média foi de 0,28 e os valores de G_{medido}/Rn entre -0,04 e 0,12, com média de 0,03. Observa-se uma queda sistemática nos valores de G_{medido}/Rn a partir de dia de ordem do ano 48 (17/02/2006), que coincidiu com o início do período chuvoso.

Teixeira (2001), ao avaliar a fração do saldo de radiação utilizada como fluxo de calor latente, sensível e no solo, durante o primeiro ciclo de cultura da banana cv. Pacovan, em Petrolina-CE, obteve valores entre 0,82 e 0,93 para LE/Rn, 0,04 e 0,01 para H/Rn e 0,14 e 0,06 para G/Rn.

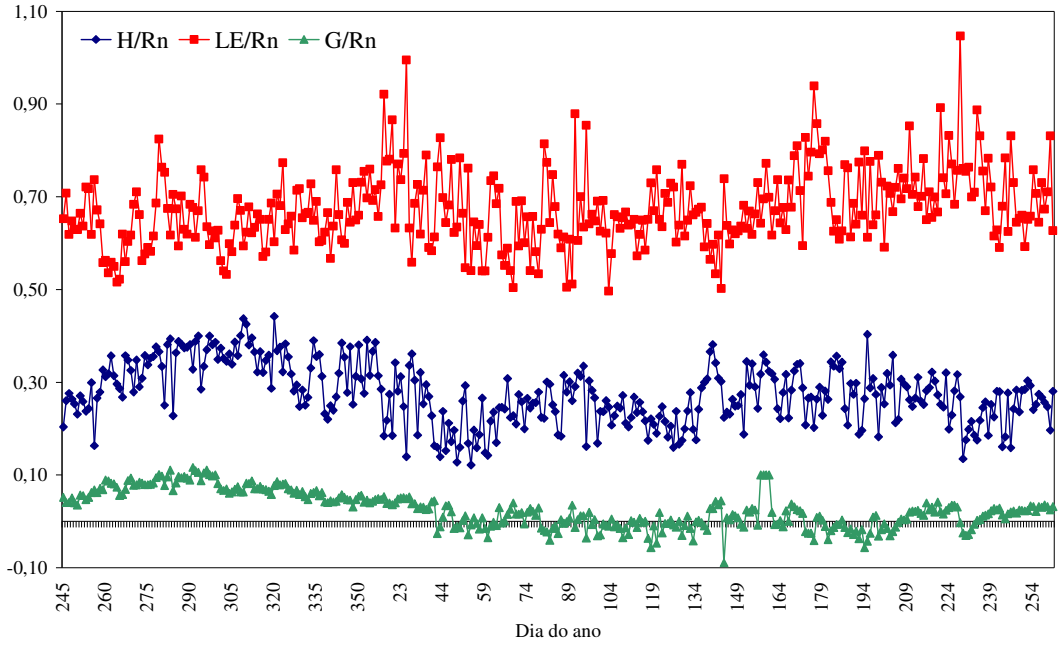

Figura 18: Evolução das razões LE/Rn, H/Rn e G_{medido}/Rn diárias para todos os dias do período experimental.

4.4.3 Razão entre o fluxo de calor sensível e o fluxo de calor latente

A razão de Bowen (H/LE), calculada para o período das 8:00 as 16:00 h, variou entre 0,24, registrada no dia 49 (18/02/2006) e 0,93, nos dias 309 (5/11/2005) e 320 (16/11/2005), conforme mostrado na Figura 19. No período compreendido entre os dias do ano 258 (15/09/2005) e 30 observou-se uma maior elevação nos valores de β. Motivo para isso é o fato do fluxo de calor sensível ser maior nessa época do ano. Por outro lado, a partir do dia do ano 43 (12/02/2006) houve uma queda nos valores dessa razão, coincidindo com o início do período chuvoso, onde H tende a diminuir devido à redução nos valores da temperatura do ar.

Porém, registrou-se uma elevação em β nos dias do ano 94 (04/04/2006), 139 (19/05/2006) e 195 (14/07/2006), cujos valores são bem maiores comparados àqueles dos dias próximos a estes.

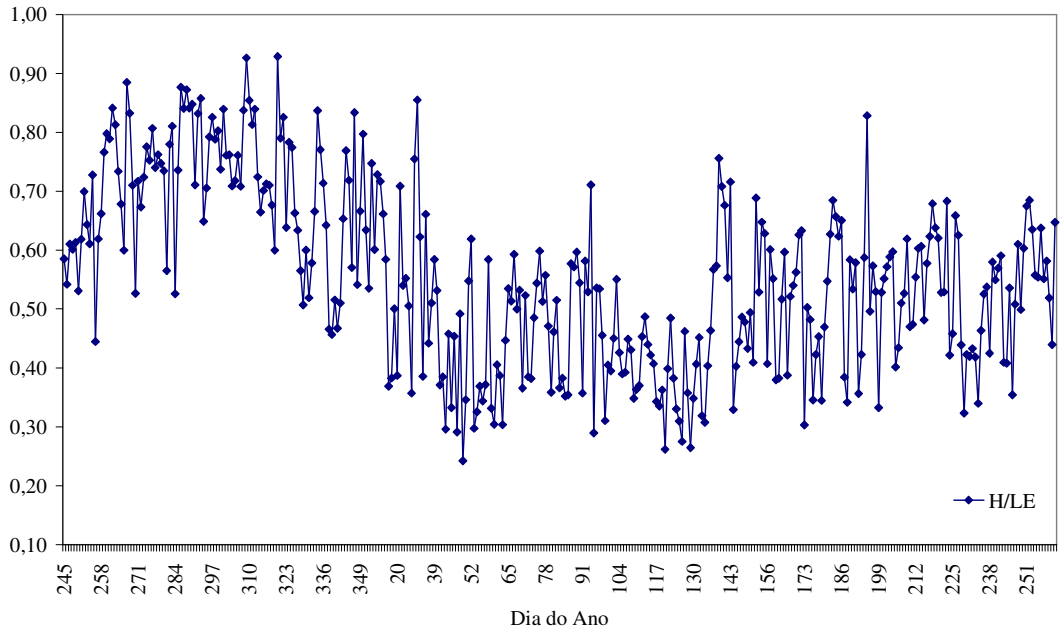

Figura 19: Evolução da razão H/LE (Razão de Bowen) ao longo do período de medições.

4.4.4 Radiação global e saldo de radiação

Além da análise da partição do saldo de radiação entre os fluxos de calor latente, sensível e no solo, é importante acrescentar a evolução da fração da radiação global (Rg) transformada em energia disponível para a superfície. A Figura 20 apresenta valores da razão Rn/Rg entre 8:00 e 16:00 h para 60 dias do período experimental nos quais se verificaram condições de céu claro ou de nebulosidade reduzida. Observa-se que a partir do dia de ordem do ano 28 há um crescimento nos valores dessa razão, permanecendo assim até o dia 166 (15/06/06), tornando a decrescer. Em média, Rn representou 72% da radiação global, valor que se aproxima daquele obtido por Teixeira (2001), ou seja, de 63% da radiação global.

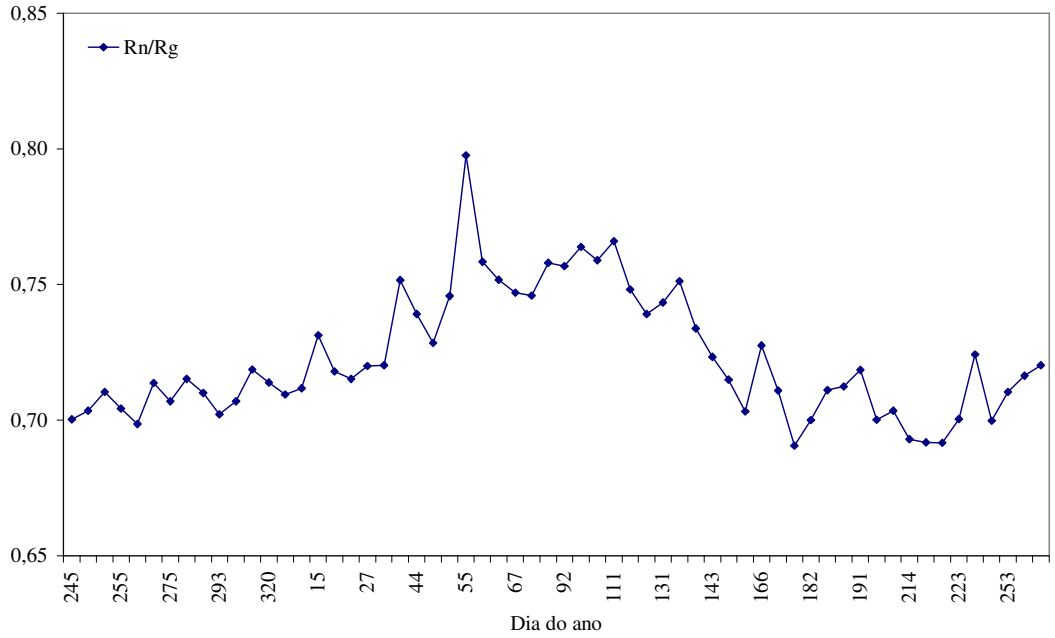

Figura 20: Evolução da razão Rn/Rg diária para alguns dias do período experimental que se verificaram condições de céu claro ou de nebulosidade reduzida.

Nas Figuras 21A e 21B está representada a regressão linear entre o saldo de radiação (Rn) e a radiação global (Rg) para cada mês do período experimental. Tal correlação resultou em equações cujas declividades variaram entre 0,60 e 0,75. Observa-se que o mês de agosto (Figura 21B (m)) foi aquele cujos dados estiveram menos correlacionados, apresentando o coeficiente de determinação R^2 igual a 0,87. Por outro lado, os valores de Rn e Rg registrados no mês de abril (Figura 21A (h)) apresentaram a melhor correlação, com R^2 igual a 0,99 e declividade da equação 0,75.

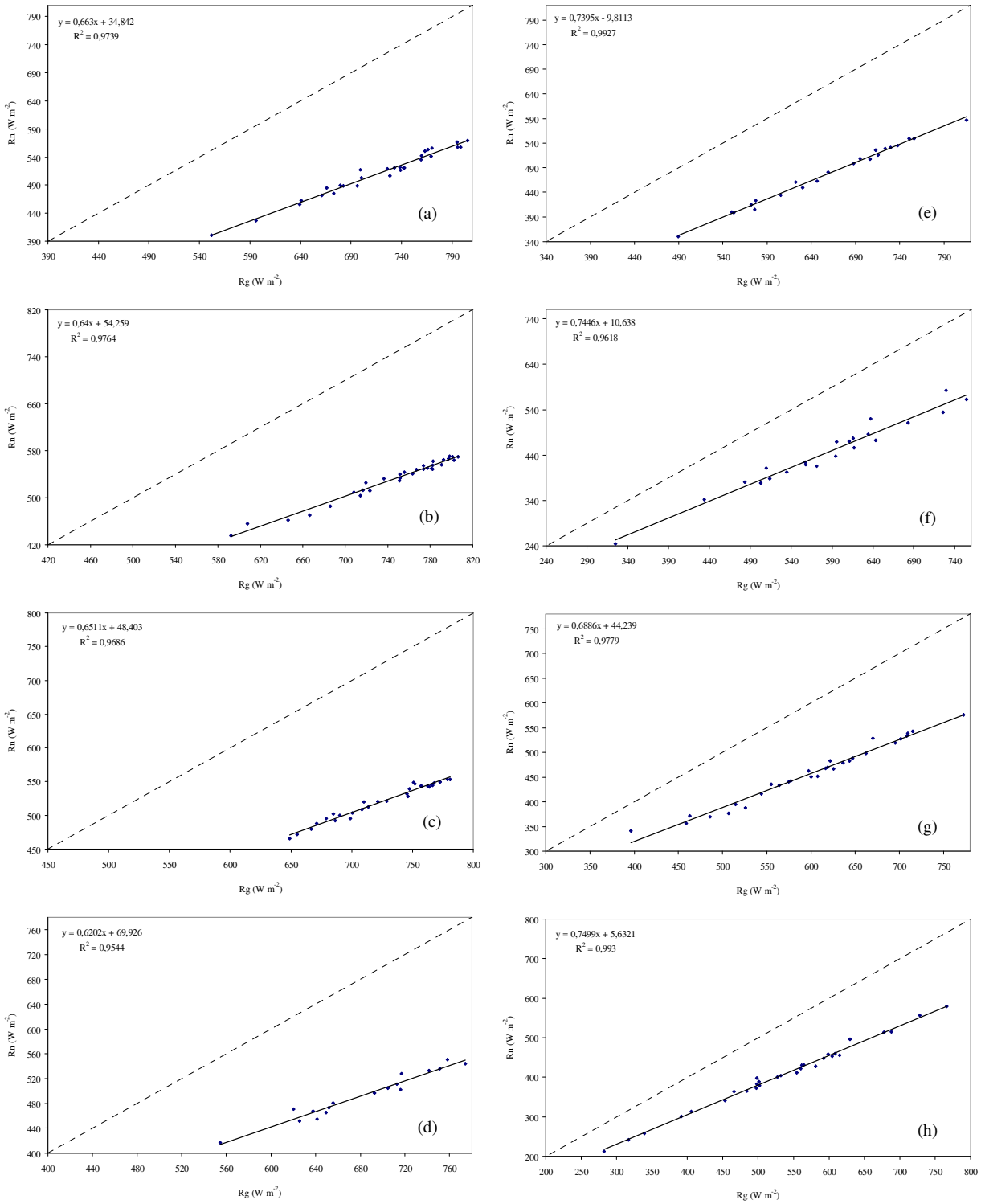

Figura 21A: Saldo de radiação (Rn) *vs* radiação global (Rg) para os meses de setembro de 2005 a abril de 2006 considerando-se os dados registrados entre 8:00 e 16:00 h.

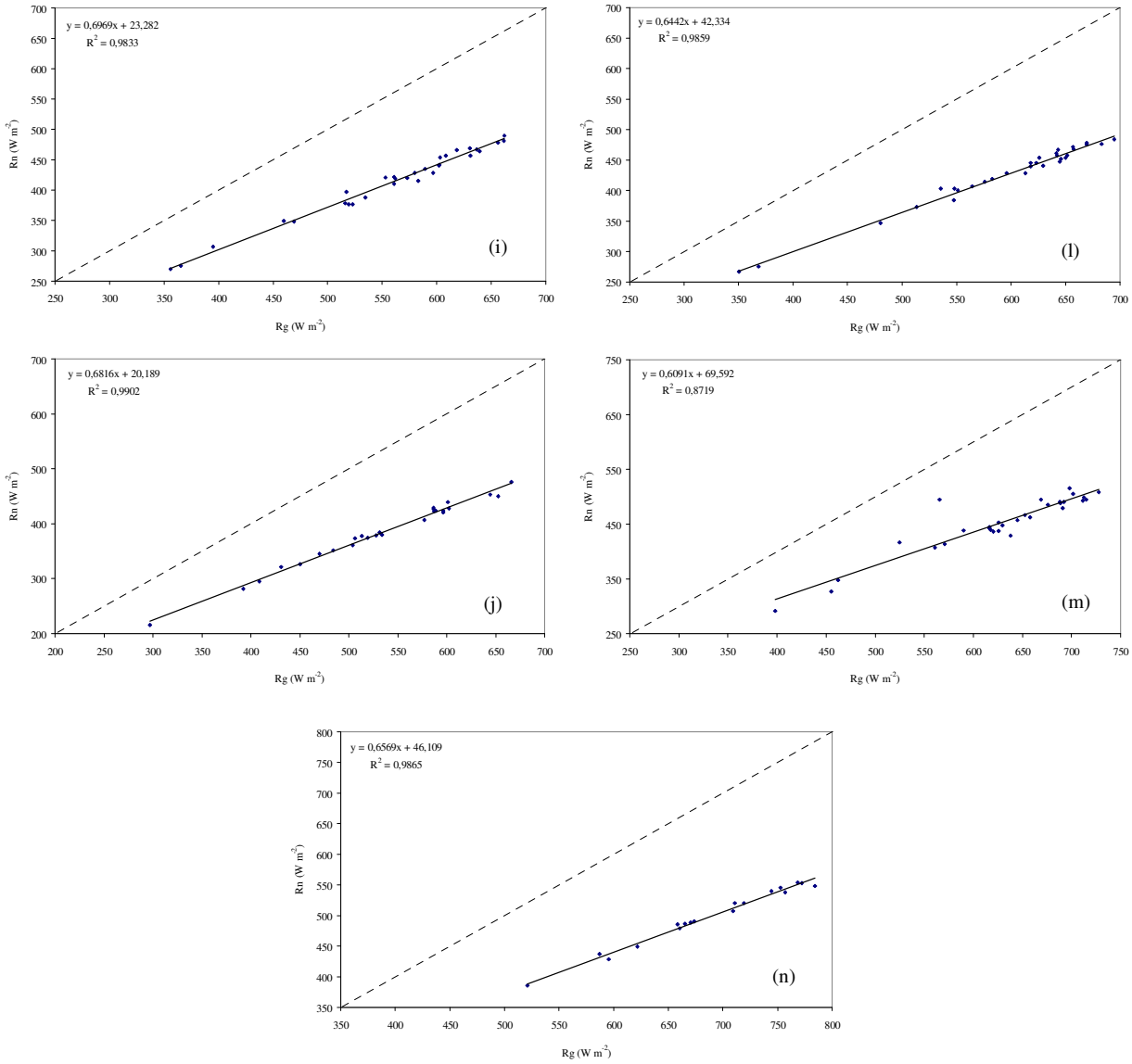

Figura 21B: Saldo de radiação (Rn) *vs* radiação global (Rg) para os meses de maio a setembro de 2006 considerando-se os dados registrados entre 8:00 e 16:00 h.

4.4.5 Fechamento do balanço de energia

O fechamento da equação do balanço de energia diário na superfície do pomar de bananeiras foi conferido comparando-se o fluxo de calor latente (LE) e o fluxo de calor sensível (H) com o saldo de radiação (Rn) e o fluxo de calor no solo (G). Na Figura 22 é exibida a evolução sazonal dos valores médios entre as 8:00 e 16:00 h.

Em geral, a energia disponível (Rn – G) excede a soma dos fluxos (H+LE) medidos pelo método das correlações turbulentas, conforme Twine et al. (2000) e Wilson et al. (2002), situação encontrada também para os dados deste trabalho.

O fechamento do balanço de energia, definido como sendo a razão entre (H+LE) e (Rn – G), foi avaliado para todos os dias do período de estudo, como também para cada mês , considerando-se os dados registrados entre 8:00 e 16:00 h. Para o primeiro (Figura 23), o fechamento mostrou precisão do método das correlações turbulentas, já que seu valor foi por volta de 0,82, que equivale a um erro de cerca de 18%. Valor semelhante foi verificado ao utilizar a estimativa de G obtida através de Rn (Figura 24), a saber, 0,83. Porém, observa-se um pequeno acréscimo no coeficiente de determinação, que foi igual a 0,79.

No que se refere ao fechamento conferido para cada mês, as menores taxas ocorreram em março (Figura 26A (g)) e agosto (Figura 26B (m)), com valores de 0,63 e 0,65, respectivamente e a maior em dezembro (Figura 26A (d)), com valor de 1,21. Tais valores estão fora da faixa de discrepância do fechamento do balanço de energia que, segundo Twine et al. (2000), varia entre 0,7 e 1,0. Porém, para os outros meses, este variou entre 0,7 e 0,95.

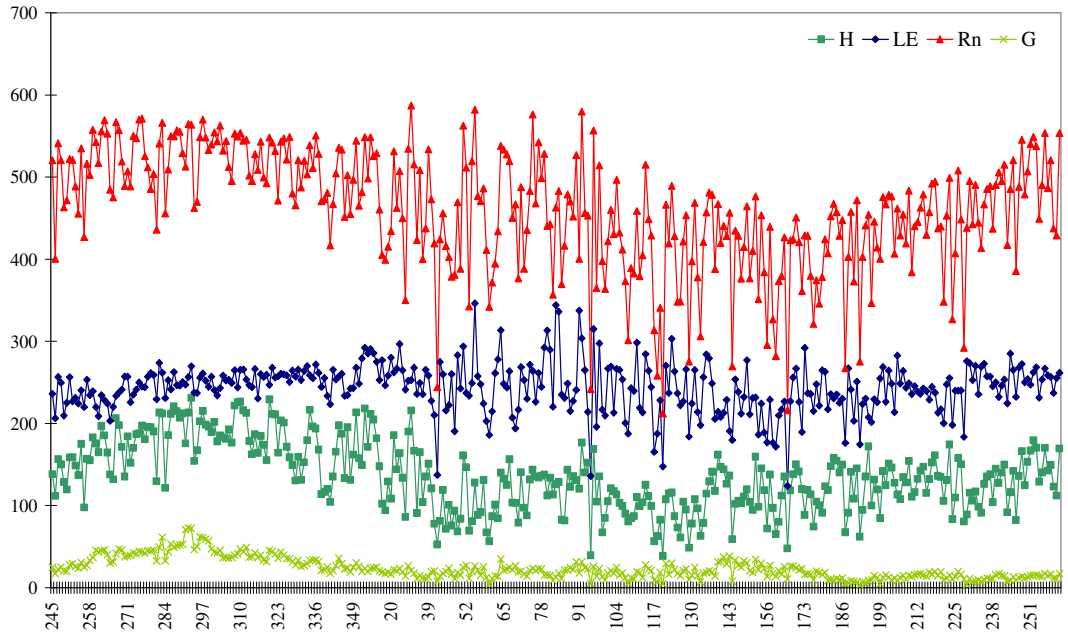

Figura 22: Evolução sazonal de Rn, LE, H e G_{medido}, considerando-se os valores registrados entre 8:00 e 16:00 h.

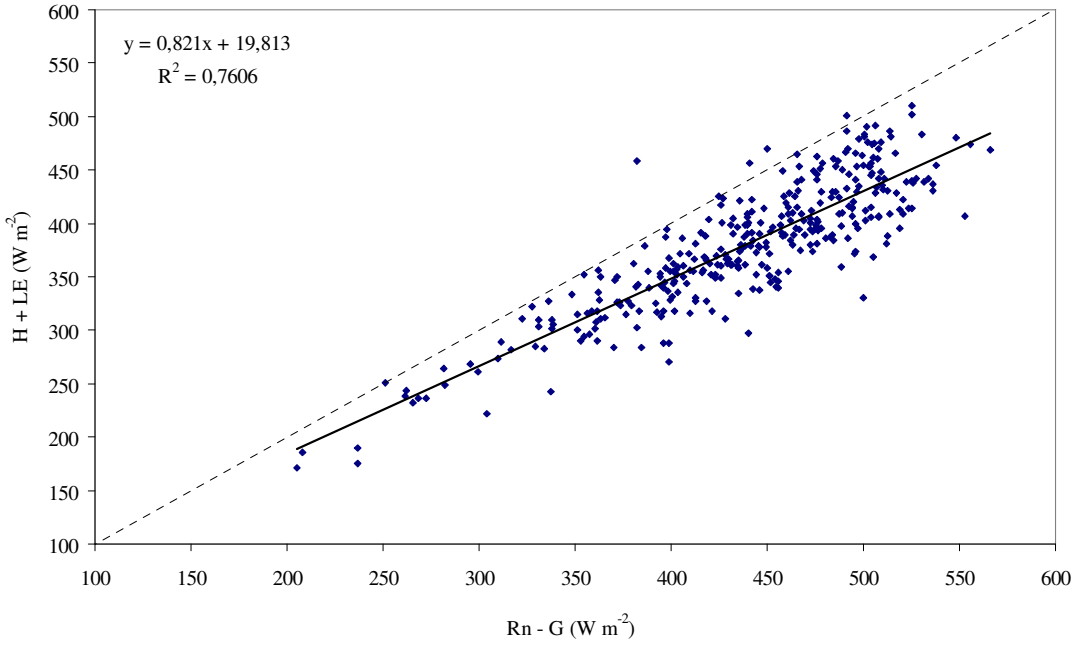

Figura 23: Fechamento da equação do balanço de energia da superfície para todo o período de estudo (setembro de 2005 a setembro de 2006).

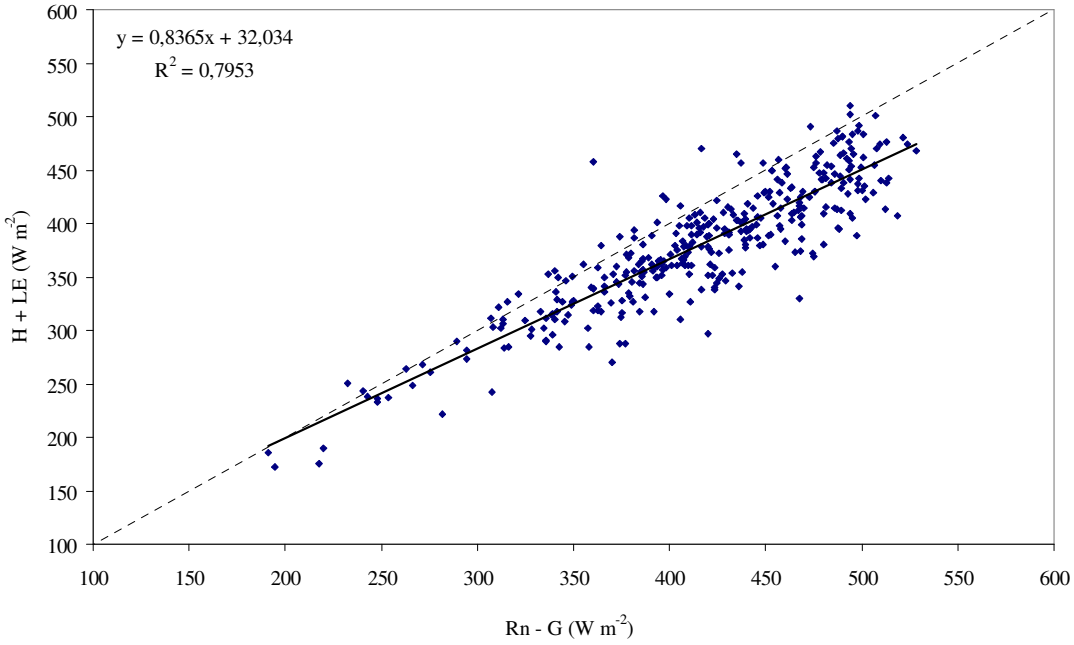

Figura 24: Fechamento da equação do balanço de energia da superfície, utilizando G estimado a partir de Rn, para todo o período de estudo (setembro de 2005 a setembro de 2006).

Optou-se também por avaliar o fechamento do balanço de energia utilizando o fluxo de calor latente obtido a partir da evapotranspiração de referência (ETo), considerando-se os dados registrados entre 8:00 e 16:00 h. O valor do fechamento foi bem superior comparando-se com aquele utilizando o LE medido (Figura 23). Tal diferença se deve aos valores da ETo, que comparados a ETc, são bem elevados no período de setembro de 2005 a fevereiro de 2006 e a partir de agosto de 2006em (ver Figura 14). O valor de 1,34 (Figura 25) excede a faixa de discrepância do fechamento do balanço de energia considerada por Twine et al. (2000), que varia entre 0,7 e 1,0.

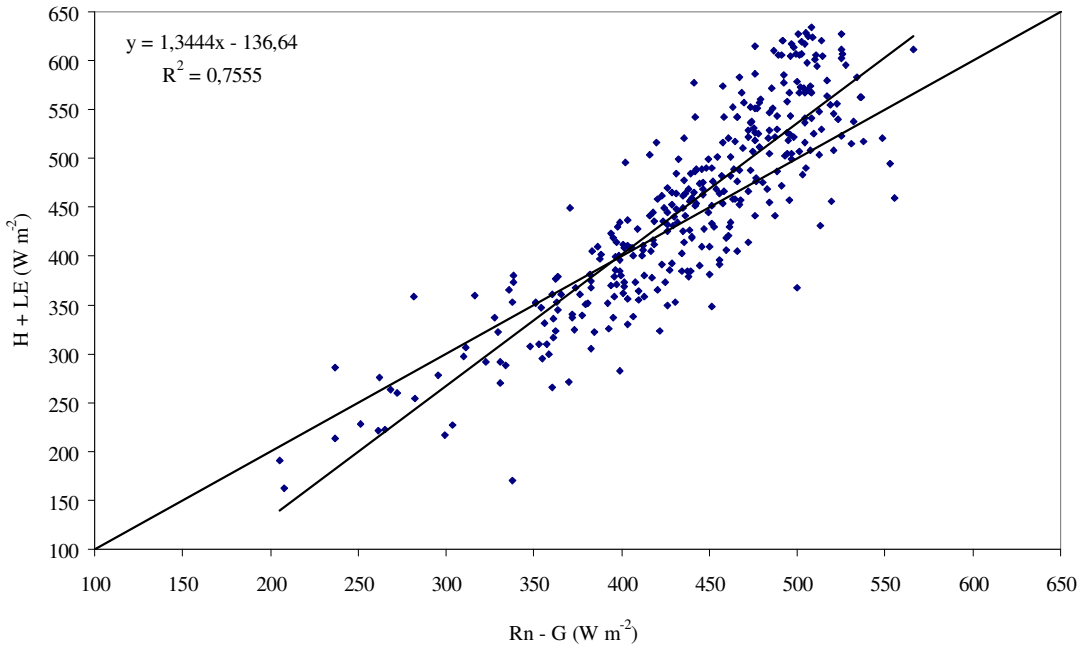

Figura 25: Fechamento da equação do balanço de energia da superfície, utilizando LE obtido a partir da ETo, para todo o período de estudo (setembro de 2005 a setembro de 2006).

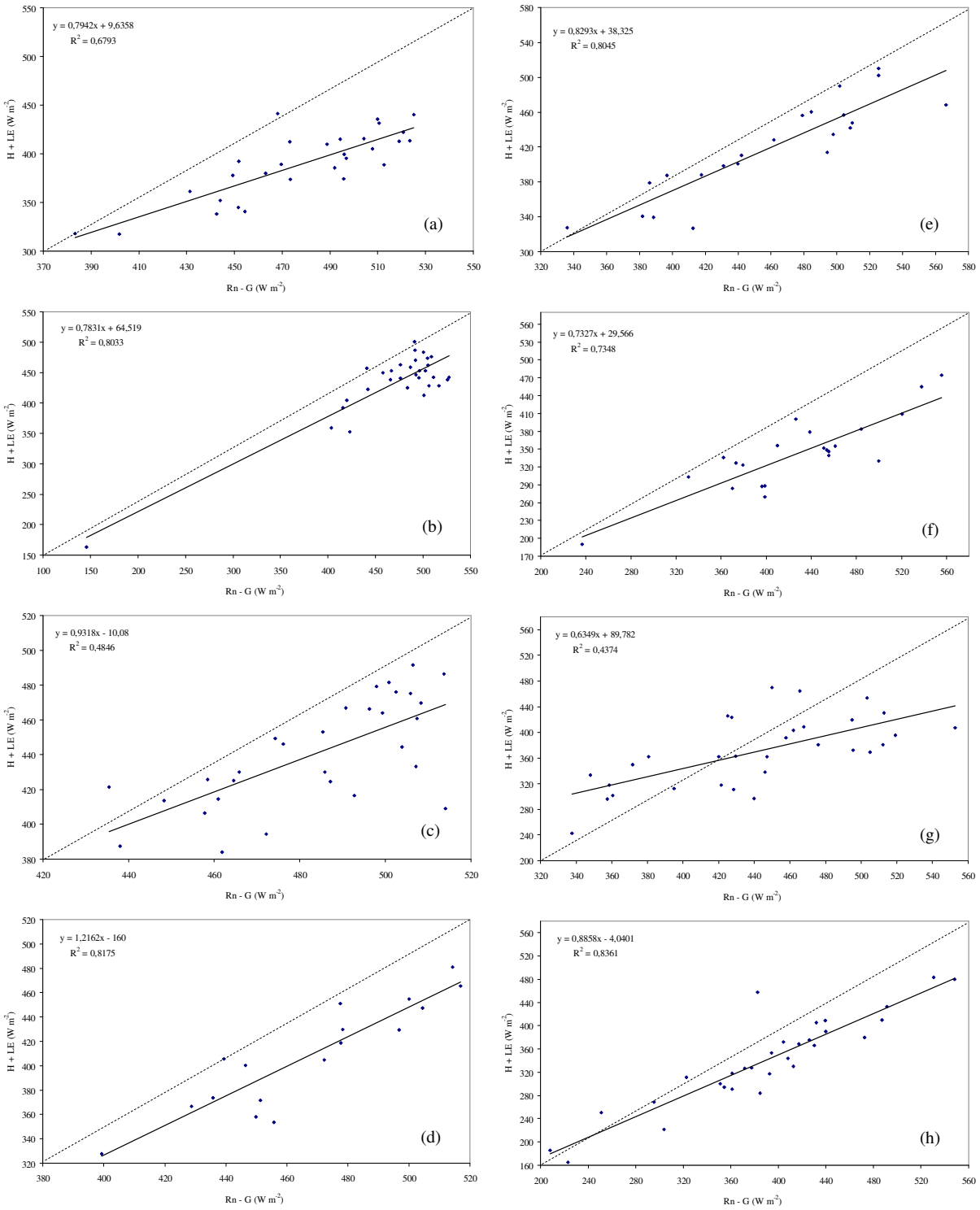

Figura 26A: Fechamento da equação do balanço de energia da superfície para os meses de setembro (2005) a abril (2006).

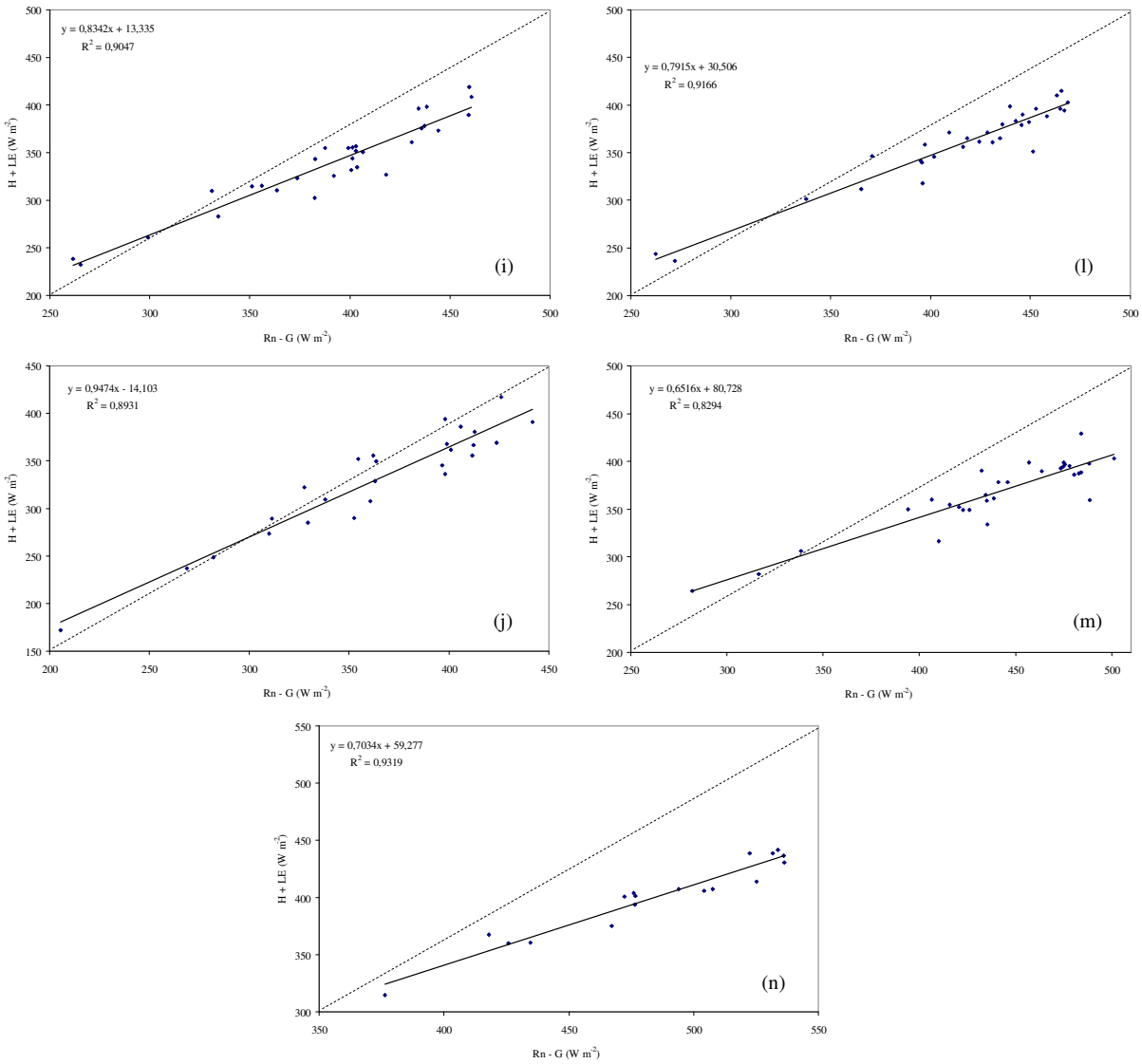

Figura 26B: Fechamento da equação do balanço de energia da superfície para os meses de maio a setembro de 2006.

4.5 Eficiência do uso da água

Na Tabela 4 são apresentados dados da produção de cachos e do consumo de água para todo o período estudado.

A eficiência do uso da água (EUA) foi de 4,11 kg m^{-3}. Este resultado é bem superior comparado àquele obtido por Bassoi et al. (2001) em Petrolina-PE, para a cv. Pacovan, considerando o 3º ciclo de cultivo da banana, a saber, 1,63 kg m^{-3}. Porém, a evapotranspiração

da cultura, estimada no referido experimento pelo método do balanço hídrico no solo, teve um valor de 948 mm e a produtividade, com valor de 15457,4 kg ha^{-1}, foi inferior ao resultado obtido neste trabalho. Nesse sentido, apesar do método das correlações turbulentas subestimar a ETc, como mencionado nas seções anteriores, o resultado da eficiência do uso da água encontrado foi satisfatório.

Tabela 4: Evapotranspiração da cultura da bananeira e eficiência do uso da água em Quixeré-CE para o período estudado

Período	**Duração (dias)**	**Produtividade (kg ha^{-1})**	**ETc_ct (mm)**	**EUA (kg m^{-3})**
02/09/2005 a 18/09/2006	353	49508,67	1203,06	4,11

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivos determinar a evapotranspiração diária de um pomar de bananeiras, sob condições irrigadas, além de computar o coeficiente de cultura (K_c), obter as principais componentes do balanço de energia, analisar o fechamento dessa equação e quantificar a eficiência do uso da água (EUA) na referida cultura.

O método das correlações turbulentas permite realizar a medição direta da evapotranspiração de uma superfície vegetada com bastante precisão se forem respeitas as condições de aplicação do mesmo e se for feita uma cuidadosa seleção e validação dos dados.

Mediante os resultados obtidos neste trabalho, observou-se uma subestimativa nos valores do fluxo de calor latente e, por conseqüência, na evapotranspiração, quando comparados aos valores obtidos como resíduo da equação do balanço de energia. Durante o período experimental o coeficiente de cultura semanal aumentou de 0,55 a 1,0.

A lâmina d'água aplicada no pomar durante o período de estudo indicou ser muito maior que a evapotranspiração de referência. Nesse sentido, entende-se que o Kc utilizado chega a ser muito maior que o obtido.

O balanço de energia da superfície mostrou que as partições do saldo de radiação utilizadas como fluxo de calor latente e calor sensível foram em média 68% e 28%, respectivamente, enquanto que a fração utilizada como fluxo de calor no solo foi em média 3%.

O erro do fechamento da equação do balanço de energia foi cerca de 20%, com uma correlação entre Rn – G e H+LE relativamente boa (R^2 = 0,76). Valores semelhantes foram obtidos ao utilizar G estimado a partir de Rn. Em geral, a utilização do método das correlações turbulentas para a obtenção dos fluxos H e LE conduz ao não fechamento da equação do balanço de energia.

Como sugestão de continuidade desta pesquisa sugere-se determinar a evapotranspiração do mesmo pomar de bananeiras em quatro tratamentos, diferenciados quanto aos valores do Kc aqui obtidos. Deste modo, poder-se-á concluir com maior confiabilidade se as irrigações praticadas com a cultura da bananeira naquela região estão ou não super-avaliadas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56.** Rome-Italy, 1998.

ARRUDA et al. Aplicação de três metodologias para estimar o fluxo de calor latente em floresta de transição. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 21, n. 3b, p. 233-240, dez., 2006.

ARYA, S. P. **Introduction to Micrometeorology**. San Diego: Academic Press, 1988.

BANCO DO NORDESTE DO BRASIL. **Região do Baixo Jaguaribe.** 2005. Disponível em <http://www.bnb.br/content/aplicacao/Polos_Desenvolvimento/Polo_BaixoJaguaribe/gerados/polo_baixojaguaribe_caracterizac.asp>. Acesso em: 16/05/2006.

BASSOI, L. H. et al. Guidelines for irrigation scheduling of banana crop in São Francisco Valley, Brazil. II – Water consumption, crop coefficient and physiological behavior. **Revista Brasileira de Fruticultura.** Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 464-467, dez., 2004. Disponível em http://www.scielo.br. Acesso em 18/07/2006.

_____. Consumo de água e coeficiente de cultura em bananeira irrigada por microaspersão. **Comunicado Técnico 108**. EMBRAPA Semi-Árido, Petrolina, dez., 2001. Disponível em http://www.cpatsa.embrapa.br. Acesso em 12/06/2006.

BORGES, A. L. **Cultivo da banana para o agropólo Jaguaribe-Apodi, Ceará.** 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 17/05/06.

COELHO, E. F. et al. Produtividade e eficiência de uso de água das bananeiras 'prata anã' e 'grand naine' sob irrigação no terceiro ciclo no norte de Minas Gerais. **Revista Irriga**. Botucatu, v. 11, n. 4, p. 460-468, out-dez, 2006, ISSN 1808-3765. Acesso em 03/04/2007.

CORDEIRO, Z. J. M. (Org.). **Banana produção: aspectos técnicos**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 143p.

CRUZ, A. C. R. **Consumo de água por cultura de citrus cultivada em latossolo vermelho amarelo**. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agronomia, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

CUNHA, G. R. e BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em alfafa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 9-16, 1994.

EMBRAPA. **Cultivo de banana para o Agropólo Jaguaribe-Apodi, Ceará**. Disponível em: <http://sistemadeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananaCeara/index.htm> 2003. Acesso em 22/04/2006.

FERREIRA, M. I. et al. Medição da evapotranspiração em cobertos descontínuos: montado de sobro na região de Lisboa. **7º Congresso da Água, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).** Lisboa, Portugal, 8-12 de março de 2004. Disponível em <http://www.aprh.pt/congressoagua2004/PDF/109.PDF>. Acesso em 19/03/2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático de Produção Agrícola**. Rio de Janeiro, v. 17, n. 12, dez. 2005. Disponível <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 16/07/2006.

IBRAGIMOV, M. et al. Water use efficiency of irrigated cotton in Uzbekistan under drip an furrow irrigation. **Agricultural Water Management**. 2007, p. 1-9. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 03/04/2007.

LIMA, J. E. F. W et al. **O uso da irrigação no Brasil**. 2004. Disponível em <http://www.cf.org.br/cf2004/irrigacao.doc>. Acesso em:10/10/2006.

LOPES, P. M. O. et al. Balanço de energia num pomar de mangueiras irrigado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2001.

MANZI, A. O. e SANTOS, A. **LBA - São Gabriel da Cachoeira - Amazonas**. 2004. Disponível em <http://www.geocities.com/axsantos04/index.html>. Acesso em: 15/06/2006.

MEIRELES, A. C. M. et al. Avaliação do impacto da fertirrigação em cambissolos na chapada do Apodi, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 34, n° 2, jul-dez, 2003.

MIRANDA, F. R. et al. Evapotranspiração máxima e coeficientes de cultivo para a cultura da melancia irrigada por gotejamento. **Revista Ciência Agronômica,** Fortaleza, v. 35, n° 1, p. 36-43, jan-jun, 2004.

MOURA, M. S. B. **Consumo hídrico, produtividade e qualidade do fruto da goiabeira irrigada na região do submédio São Francisco**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

NAGLER, P. L. et al. Evapotranspiration on Western US rivers estimated using the Enhanced Vegetation Index from MODIS and data from eddy covariance and Bowen ratio flux towers. **Remote Sensing of Environment**. 2005, p. 337-351. Disponível em <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em 19/03/2006.

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

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Coping with water scarcity: challenge of the twenty-forty century.** Documento publicado no Dia Mundial da Água 2007. Março de 2007. Disponível em <http://www.abrh.org.br>. Acesso em 22/03/2007.

PAÇO, T. A. **Modelação da evapotranspiração em cobertos descontínuos: programação da rega em pomar de pessegueiro**. Tese (Doutoramento em Engenharia Agronómica), Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2003. Disponível em http://www.isa.utl.pt/wateruse/PUBLICATIONS/tese%20final%20definitivo%20pdf.pdf. Acesso em 11/08/2006.

PAÇO, T. A. et al. Peach orchard evapotranspiration in a sandy soil: comparison between eddy covariance measurements and estimates by FAO 56 approach. **Agricultural Water Management**. 2006, p. 1-9. Disponível em <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em 12/07/2006.

PEREZ, Luís Henrique. Mudanças na estrutura produtora e exportadora de banana no Brasil, 1990-2003. **Informações Econômicas**. São Paulo, v. 34, n. 6, jun., 2004. Disponível em. Acesso em 4/10/2005.

PEZZOPANE, J. R. M. e PEDRO JÚNIOR, M. J. Balanço de energia em vinhedo de 'Niagara Rosada'. **Bragantia**. Campinas, v. 62, n. 1, p. 155-161, 2003.

PINTO, L. D. V. O. **Fluxos de energia sobre uma floresta tropical na Amazônia**. Dissertação (Mestrado em Ciências), Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

RANGEL, A. **Banana (*Musa sp.*)**. 2004. Disponível em: <http://www.agrobyte.com.br/banana.htm>. Acesso em: 17/05/2006.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987.

RIGHI, E. Z. **Balanço de energia e evapotranspiração de cafezal adensado em crescimento sob irrigação localizada**. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2004.

SAMMIS, T. W. et al. Evapotranspiration of flood-irrigated pecans. **Agricultural Water Management**. 2004, p. 179-190. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 10/10/2006.

SCHMID, H. P. Footprint modeling for vegetation atmosphere exchange studies: a review and perspective. **Agricultural and Forest Meteorology**. 2002, p. 159-183. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 12/03/2007.

SILVA, L. D. B. da. **Evapotranspiração do capim tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) e grama batatais (*Paspalum notatum flugge*) utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SIMMONS, L. J. et al. An evaluation of two inexpensive energy-balance techniques for measuring water use in flood-irrigated pecans. **Agricultural Water Management**. 2006, p. 181-191. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 15/02/2007.

SOARES, W. R. et al. Dependência do coeficiente de cultura no estádio inicial de desenvolvimento (Kc_{ini}) à lâmina de irrigação e textura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 5, n. 1, 2001, p. 23-27.

STULL, R. B. **An introduction to boundary layer meteorology**. Netherlands: Kluwer Academy Publishers, 1988.

SWINBANK, *apud* PAÇO, T. A. **Modelação da evapotranspiração em cobertos descontínuos: programação da rega em pomar de pessegueiro**. Tese (Doutoramento em Engenharia Agronómica) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2003. Disponível em http://www.isa.utl.pt/wateruse/ PUBLICATIONS/tese%20final%20definitivo%20pdf.pdf. Acesso em 11/08/2006.

TANNER, B. D. et al. Evaluation of an operational eddy correlation system for evapotranspiration measurements. In: **Eddy correlation instrumentation (Models KH_2O and C27)**. Collected paper, version 1 (1.88), Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA, 1988.

TANNY, J. et al. Airflow characteristics, energy balance and eddy covariance measurements in a banana screenhouse. **Agricultural and Forest Meteorology**. 2006, p. 105-118. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 10/04/2007.

TEIXEIRA, A. H. C. et al. Consumo hídrico e coeficiente de cultura da videira na região de Petrolina, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 413-416, 1999.

TEIXEIRA, A. H. 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.

TWINE, T. E. et al. Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grassland. **Agricultural and Forest Meteorology.** 2000, p. 279-300. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 15/02/2007.

WILSON, K. et al. Energy balance closure at FLUXNET sites. **Agricultural and Forest Meteorology.** 2002, p. 223-243. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 15/02/2007.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo