

Medições micrometeorológicas de um pomar de mangueiras (*Mangifera indica* L.) em Cuiarana no município de Salinópolis - PA, Brasil

Cleber Assis dos Santos¹, Christopher Henrique de Almeida Duarte² e José de Paulo Rocha da Costa³

1 Graduado em Ciências Naturais com habilitação em Física pela Universidade do Estado do Pará e Especialista em Agricul-turas Amazônicas e Desenvolvimento Agroambiental pelo Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento Rural - NCADR da UFPA. Atualmente cursando Bacharelado em Meteorologia pela Universidade Federal do Pará. Integrante do Grupo de Pesquisa da UFPA no Laboratório de Estudos e Modelagem Hidroambientais (LEMHA), na linha de pesquisa de Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicado a modelagem hidrológica, Brasil. E-mail: cleber_ufpa@yahoo.com.br

2 Graduando em Meteorologia pela Universidade Federal do Pará, Brasil. E-mail: almeidahc@gmail.com

3 Dr. em Meteorologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Professor da Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém – PA, Brasil. E-mail: jpaulo@ufpa.br

RESUMO: O presente trabalho objetivou, por meio de dados medidos e estimados, analisar a variabilidade na escala horária de alguns parâmetros micrometeorológicos que ocorrem próximo à superfície terrestre, em um pomar de mangueiras (*Mangifera indica* L.), cultivar Tommy Atkins. O local onde o estudo foi desenvolvido pertence a Universidade Federal do Pará e compreende uma área de exploração comercial de *Mangifera indica* L., localizada no sítio experimental Modesto Rodrigues em Cuiarana (00°39'47"S; 47°17'48"W). Com posse dos dados, medidos de hora em hora, através dos instrumentos meteorológicos, foi feita a média dos três dias e foram calculados a pressão atmosférica (hPa), pressão de saturação de vapor (hPa), umidade absoluta (g/m³), razão de mistura (g/kg), umidade específica (g/kg) e a temperatura do ponto de orvalho (°C). Após a análise dos dados micrometeorológicos, foi possível entender que o ciclo diurno de algumas dessas variáveis é de suma importância para tomada de decisões, principalmente, no que se refere a variabilidade no interior de algumas plantações ou culturas de interesse agrícolas.

Palavras-chave: Micrometeorologia, temperatura do ar, ciclo diurno.

Micrometeorological measurements of an orchard of mango trees (*Mangifera indica* L.) in Cuiarana in the municipality of Salinópolis-PA, Brazil

ABSTRACT: This study aimed, through measured and estimated data, analyze the variability in hourly scale of some micrometeorological parameters occurring near the Earth's surface, in an orchard of mango trees (*Mangifera indica* L.), cultivar Tommy Atkins. The place where the study was developed belongs to the Federal University of Pará and covers an area of commercial exploitation of *Mangifera indica* L., located in the experimental site Modesto Rodrigues in Cuiarana (00°39'47"S; 47°17'48"W). From the data measured each hour through the meteorological instruments, the mean of the three days was taken and it was calculated the atmospheric pressure (hPa), steam saturation pressure, absolute humidity (g/m³), mixing ratio (g/kg), specific humidity (g/kg) and the temperature of dew point (°C). After analyzing the micrometeorological data, it was possible to understand that the

diurnal cycle of some variables is very important to decision-making, especially as regards the variability within some crops that represent agricultural interests.

Keywords: Micrometeorology, air temperature, diurnal cycle.

1 INTRODUÇÃO

A micrometeorologia permite a quantificação dos fluxos turbulentos de momento, calor latente, calor sensível e outras propriedades atmosféricas, além de informações relacionadas a problemas ligados aos estudos agrônômicos, ecológicos e hidrológicos (TOLEDO FILHO, 2001).

Os fenômenos micrometeorológicos ocorrem na camada de ar mais baixa da troposfera, que está em contato direto com a superfície terrestre na qual predomina o transporte turbulento de grandezas escalares e vetoriais entre a superfície da terra e da atmosfera, conhecida como Camada Limite Planetária (CORRÊA, 1997). Para Magnago et al., (2010), as trocas de energia, vapor d'água, e de momentum que ocorrem nesta camada atmosférica são responsáveis pelas características dinâmicas e termodinâmicas do escoamento. Segundo Gevaerd e Freitas (2006), como a superfície terrestre atua como fonte de calor e umidade durante o dia para a Camada Limite Planetária, faz-se necessário estudar variáveis como a temperatura do ar, a evaporação e a pressão atmosférica, pois são importantes elementos meteorológicos para entender as flutuações dos processos físicos que ocorrem próximo à superfície terrestre.

Para observações micrometeorológicas, a temperatura do ar é medida

em diversas alturas com o intuito de conhecer o perfil de temperatura, que é indispensável para estudar o fluxo turbulento de calor na camada atmosférica adjacente à superfície (VAREJÃO-SILVA, 2006). Brondani e Acevedo (2013) citam que além da temperatura do ar, a umidade específica é outra variável associada aos fluxos de energia, tanto o fluxo de calor latente quanto o fluxo de calor sensível, que ocorrem na superfície terrestre. O vapor d'água também participa dos processos de absorção e emissão de calor sensível e calor latente pela atmosfera, interferindo desta forma, na distribuição da temperatura (VAREJÃO-SILVA, 2006). As variáveis de temperatura e umidade são inversamente proporcionais, visto que elas se interagem ao mesmo tempo (SANCHES et al., 2009).

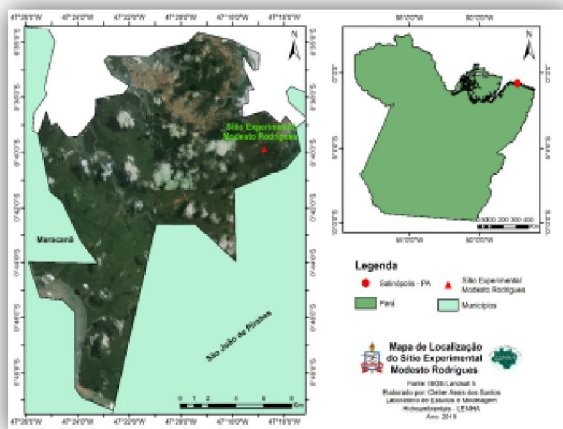
A pressão atmosférica é uma outra variável importante para a micrometeorologia, definida como o peso do ar sobre qualquer objeto dentro da atmosfera e que está sujeita a variações horárias com valores máximos e mínimos às 10 e 22 horas, respectivamente (JARDIM, 2012).

O presente trabalho objetivou, por meio de dados medidos e estimados, analisar a variabilidade na escala horária de alguns parâmetros micrometeorológicos que ocorrem próximo à superfície terrestre, em um pomar de Mangifera indica L.), cultivar Tommy Atkins.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O local onde o estudo foi desenvolvido pertence a Universidade Federal do Pará e compreende uma área de exploração comercial de manga, cultivar Tommy Atkins, localizada no sítio experimental Modesto Rodrigues em Cuiarana (00°39'47"S; 47°17'48"W e 10 metros de altitude), município de Salinópolis, região nordeste do Pará (Figura 1) no Brasil.

Figura 1: Localização do Sítio Experimental Modesto Rodrigues.



Os dados micrometeorológicos, temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%), através do psicrômetro, e evaporação no evaporímetro de piche (mm) foram medidos dentro do abrigo meteorológico à 1,5 m acima do solo (Figura 2a), a pressão foi medida através do barômetro aneroide (Figura 2b). A temperatura do ar, 2 m acima do solo, foi medida por um sensor (Figura 2c) em uma estação meteorológica automática instalada em uma torre (Figura 2d) micrometeorológica com 15 m de altura erguida no interior da área plantada. Estes dados foram medidos

na escala horária e são referentes ao período de 23 até 25 de junho de 2015, onde, para a realização de cálculos foi feita a média dos três dias.

Figura 2: Instrumentos de medida dos dados micrometeorológicos.



(a) Evaporímetro de piche



(b) Barômetro aneroide



(c) Sensor de temperatura



(d) Torre micrometeorológica

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com posse dos dados, medidos de hora em hora, através dos instrumentos meteorológicos, foi feita a média dos três dias e foram calculados a pres-

são atmosférica (hPa), pressão de saturação de vapor (hPa), umidade absoluta (g/m^3), razão de mistura (g/kg), umidade específica (g/kg) e a temperatura do ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$).

A pressão atmosférica que é definida como sendo o peso de uma coluna de ar, com secção transversal unitária, que se estende sobre o ponto considerado até o limite superior da atmosfera foi estimada utilizando a equação 1:

$$P_{\text{atm}} = 101,325 \left(\frac{T_{\text{ar}}(\text{k}) - 0,0065Z}{T_{\text{ar}}(\text{k})} \right)^{5,26} \quad (1)$$

onde, T_{ar} é a temperatura absoluta do ar e Z (m) é a altura acima do nível médio do mar.

A pressão de saturação de vapor (hPa) é a pressão parcial de vapor d'água na condição de saturação. É dada por (em função da temperatura), foi obtida a partir da equação 2:

$$e_s = 0,61078 \text{EXP} \left(\frac{17,27T_{\text{ar}}}{237,3 + T_{\text{ar}}} \right) \quad (2)$$

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

A umidade absoluta, definida como sendo a relação entre a massa de vapor d'água existente em uma amostra de ar úmido e o volume total da mistura, pode ser calculada através da equação 3.

$$UA = \frac{216,68 e_a}{T_{\text{ar}}(\text{k})} \quad (3)$$

em que, e_a é a pressão real de vapor (hPa) que é definida como a pressão atual exercida pelo vapor d'água no ar, determinada segundo a equação 4, e T_{ar} é a temperatura absoluta.

$$e_a = e_s \left(\frac{UR}{100} \right) \quad (4)$$

onde, UR é a umidade relativa do ar (%) e e_s é a pressão de saturação de vapor (hPa).

A razão de mistura definida como a relação entre a massa de vapor d'água existente em uma amostra de ar úmido e a massa de ar seco da mistura, calculada a partir da equação 5.

$$r = \frac{0,622 e_a}{P_{\text{atm}} - e_a} \quad (5)$$

onde, P_{atm} é a pressão atmosférica (hPa) medida através do barômetro aneróide e e_a é a pressão real de vapor (hPa).

A umidade específica é a razão entre a massa de vapor d'água e a massa total de ar que o contém (g/kg), estimada através da equação 6.

$$q = \frac{0,622 e_a}{P_{\text{atm}} - 0,378 e_a} \quad (6)$$

onde, P_{atm} é a pressão atmosférica (hPa) medida através do barômetro aneróide e e_a é a pressão real de vapor (hPa).

E a temperatura do ponto de orvalho, que é definida como a temperatu-

ra à qual o vapor d'água que está em suspensão no ar condensaria sob a mesma pressão, foi estimada segundo a equação 7.

$$T_d = \frac{186,905 - 237,3 \text{Log}_{10}(e_a)}{\text{Log}_{10}(e_a) - 8,325} \quad (7)$$

onde, e_a é a pressão real de vapor (hPa).

Para o tratamento estatístico e elaboração do banco de dados e dos gráficos, foi utilizado a planilha eletrônica Microsoft Excel 2013, o mapa de localização do sítio experimental Modesto Rodrigues foi elaborado através do Software ArcGIS 10.0.

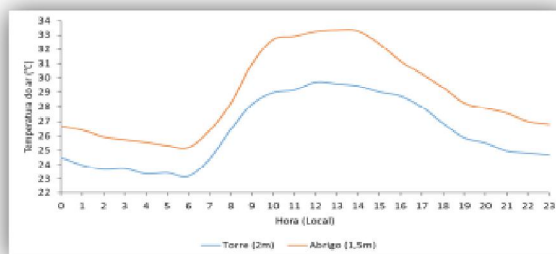
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Temperatura do ar de 2m e 1,5m

A figura 3 mostra a média da variação horária da temperatura do ar. Podemos observar que os valores da temperatura começam a elevar a partir das 6h, quando há o nascer do Sol, que irá impulsionar o aquecimento diferencial da superfície, provocando o aumento da temperatura. Pouco antes das 6h, há o registro das menores temperaturas, pois este horário atinge o limite de perda de calor da superfície terrestre por radiação de onda longa. Observa-se, que a temperatura máxima ocorre com uma defasagem de 2 a 3 horas em relação ao horário de maior irradiância solar (12h). Aproximadamente, a partir das 14h paulatinamente, ocorre a diminuição da temperatura

devido a redução gradual da influência da radiação solar.

Figura 3: Ciclo diurno da temperatura do ar em 2m e 1,5m.



Fonte: Elaborado pelos autores.

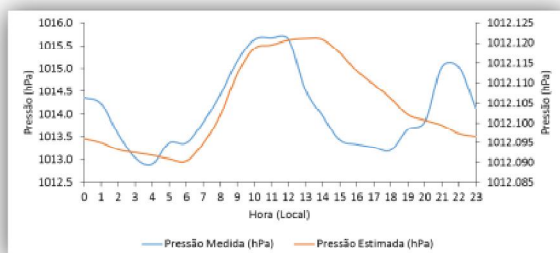
É possível observar que a temperatura do abrigo (1,5m), em todo o período de análise dos dados, foi mais elevada (média de 28,9°C) se comparada com a temperatura medida pelo sensor da torre micrometeorológica, a 2m de altura (média de 26,3°C).

3.2 Pressão atmosférica medida e estimada

A figura 4 mostra a média da variação horária das pressões medida e estimada. Podemos observar a média da variação da pressão atmosférica medida durante as 24h, em que ocorre dois valores máximos de pressão (aproximadamente 10h e 22h) e dois valores mínimos (aproximadamente 4h e 18h). A pressão atmosférica medida (média de 1014,1 hPa), mostra um ciclo diurno (duas vezes ao dia), este efeito é mais forte nas zonas tropicais. Variações nos níveis superiores de temperatura tendem a distorcer as superfícies isobáricas. Este ritmo é a imagem da superfície de uma maré diurna de toda a atmosfera. Uma onda se move através da

atmosfera superior, para o oeste com a velocidade do ritmo circadiano provocado pelo Sol (UWYO.EDU, 2015).

Figura 4: Ciclo diurno da pressão atmosférica medida e estimada.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A pressão atmosférica estimada (média de 1012,1 hPa), que utilizou como principal variável a temperatura absoluta do ar (utilizando a temperatura do ar de 1,5 m), mostrou que o valor máximo ocorre uma vez durante o ciclo diurno (aproximadamente 14h) e os valores mínimos ocorrem duas vezes durante o ciclo diurno (aproximadamente 6h e 18h), mostrando que a estimativa segue o movimento aparente do Sol, ou seja, como durante o dia há temperaturas maiores que durante a noite, a pressão será diretamente proporcional a temperatura.

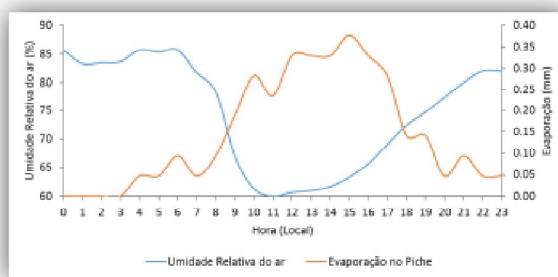
Assim, todos os fatos acima observados (Figura 4) mostram que as alterações de pressão cíclicas diárias não são diretamente ligadas a mudanças diárias de temperatura (Figura 3).

3.3 Umidade relativa do ar e evaporímetro de piche

A figura 5 mostra a relação entre a média da umidade relativa do ar, que é a relação entre a quantidade de vapor

d'água que o ar poderia conter (e_s) pela quantidade de vapor d'água que o ar contém (e_a), e da evaporação do evaporímetro de piche que mede o poder evaporante de uma superfície porosa e úmida. Podemos observar que a umidade relativa do ar (média de 75%) interage de maneira inversa à evaporação no evaporímetro de piche (média acumulada de 3,53 mm).

Figura 5: Relação entre a umidade relativa do ar e a evaporação no evaporímetro de piche.



Fonte: Elaborado pelos autores

Durante o período noturno, principalmente pela madrugada, a umidade relativa do ar atinge seus maiores valores (máximo de 86% às 6h), inversamente a evaporação no evaporímetro de piche atinge seus menores valores (mínimo de 0 mm das 0h até às 3h). No período diurno ocorre o processo inverso, onde a umidade relativa atinge seus menores valores (mínimo de 60% às 11h) e a evaporação atinge seu valor máximo (máximo de 0,38 mm às 15h).

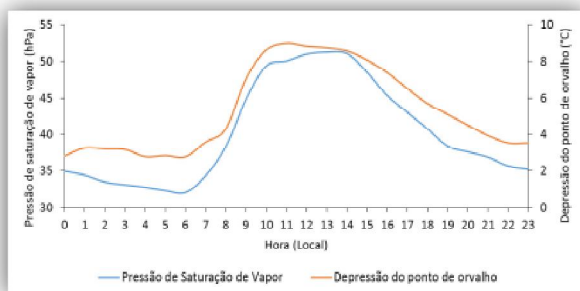
Esses valores são influenciados pelo aquecimento diferencial que o Sol provoca na superfície terrestre, ou seja, quando a temperatura está elevada, a umidade relativa do ar é menor e a evaporação no evaporímetro de piche é maior, quando o aquecimento é me-

nor ou quando não há aquecimento, a umidade relativa é maior e a evaporação é menor devido à perda de radiação de onda longa pela superfície terrestre. Segundo Fernandes et al. (2009), é possível estimar a evapotranspiração de referência de maneira satisfatória, através da evaporação medida pelo evaporímetro de piche. Entretanto, nos meses de baixa umidade relativa do ar, o evaporímetro de piche apresenta uma baixa em sua precisão, por estar diretamente ligado a essa variável.

3.4 Depressão do ponto de orvalho e pressão de saturação de vapor

A figura 6 mostra a média da variação horária da pressão de saturação de vapor (média de 40,1 hPa) e da depressão do ponto de orvalho (média de 5,3 °C), que é a diferença entre a temperatura do ar em dada situação e a temperatura do ponto de orvalho (PEIXOTO; TOLEDO, 2002).

Figura 6: Ciclo diurno da pressão de saturação de vapor e da depressão do ponto de orvalho



Fonte: Elaborado pelos autores

Podemos observar que tanto a pressão de saturação de vapor quanto a depressão do ponto de orvalho, são

diretamente proporcionais. Pois são dependentes do ciclo circadiano da temperatura do ar. Logo os maiores valores ocorrem entre as 10h e as 14h, quanto as temperaturas estão mais elevadas. No período noturno, principalmente na madrugada, encontramos os menores valores.

Quando a depressão do ponto de orvalho está em seu maior valor, significa que a camada de ar está mais seca, ocorrendo às 11h com 9°C, já no horário das 6h quando a depressão atingiu 2,8°C a camada de ar estava mais úmida.

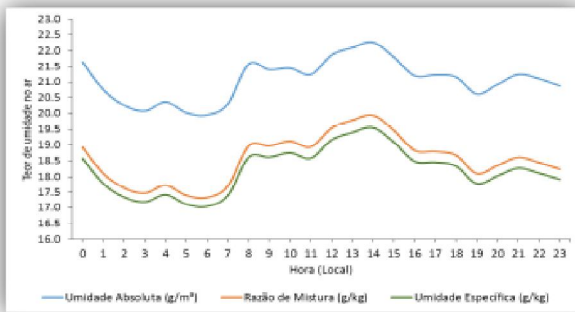
A quantidade de vapor d'água que o ar pode reter é função da temperatura do ar. Quanto maior a temperatura do ar maior a quantidade de vapor d'água que pode ser por ele retida (RODRIGUES, 2003). Logo, o horário em que o ar pode reter maior quantidade de vapor d'água, foi às 14h, horário este que houve maior temperatura; já às 6h foi o horário em que o ar poderia conter menor quantidade de vapor d'água.

3.5 Umidade absoluta, razão de mistura e umidade específica

A figura 7 mostra a média da variação horária da umidade absoluta (21,1 g/m³), razão de mistura (média 18,5°C) e umidade específica (média 18,2°C). Os picos máximos dessas variáveis ocorreram às 14h devido, principalmente, as altas temperaturas, mostrando que o teor de umidade neste horário foi o mais elevado. No período noturno, com a diminuição da temperatura e a redução da capacidade do ar de con-

ter vapor, ocorrendo o pico mínimo às 6h (menor teor de umidade no ar).

Figura 7: Ciclo diurno da umidade absoluta, razão de mistura e umidade específica



Fonte: Elaborado pelos autores

Umidade é o termo geral usado para descrever a presença de vapor d'água na atmosfera. Esta presença de vapor d'água pode ser descrita quantitativamente de várias maneiras. Dentre elas estão a umidade relativa do ar, a umidade absoluta, a razão de mistura e a umidade específica.

O índice mais conhecido para descrever o conteúdo de vapor d'água na atmosfera é a umidade relativa do ar. Por definição, a umidade relativa do ar é a razão entre a pressão de vapor exercida pelas moléculas de água presentes no ar e a pressão de vapor de saturação, à mesma temperatura, sendo expressa em porcentagem. Como a pressão de saturação varia rapidamente com as pequenas flutuações de temperatura, a UR pode variar com ambos os parâmetros, e o seu valor sem o conhecimento da temperatura se torna meramente qualitativo. Consequentemente, a UR indica quão próximo o ar está da saturação, ao invés de indicar a real quantidade de vapor

d'água no ar. Por isto, ela não constitui um índice eficaz para a medição de vapor d'água da atmosfera.

Umidade absoluta é a razão entre a massa de vapor d'água e o volume total de ar que o contém (g/m^3), à temperatura e pressão constantes. Logo, se houver variações de temperatura e pressão, a umidade absoluta sofrerá alterações muito significativas no seu valor. Por isto, ela é a pior estimativa para quantificar a umidade da atmosfera.

A razão de mistura é definida como a razão entre a massa de vapor d'água existente em uma amostra de ar úmido e a massa de ar seco da mistura ($\text{kg de vapor/kg de ar seco}$). Por propósitos práticos, geralmente se usa a razão de mistura para quantificar o vapor d'água presente na atmosfera, pois ela é expressa em unidades de massa, e por isso não é afetada por mudanças na pressão ou temperatura.

A umidade específica é a razão entre a massa de vapor d'água e a massa total de ar que o contém (g/kg), e independe da pressão atmosférica. Por isto, constitui o método mais eficaz para estimar a umidade da atmosfera. Além disso, como a quantidade de vapor d'água raramente excede 4% da massa total do ar, a umidade específica usualmente não difere da razão de mistura por mais de 2%.

4 CONCLUSÕES

Os resultados do trabalho mostraram que a temperatura do ar, medida no abrigo meteorológico (1,5 m), se

manteve sempre maior que a temperatura do sensor instalado na torre meteorológica (2 m). A pressão atmosférica estimada é diretamente proporcional a temperatura, porém, a equação utilizada para estimar a pressão atmosférica não correspondeu a variação oscilatória da pressão atmosférica medida que apresentou dois máximos e dois mínimos durante as 24h, mostrando que a temperatura do ar não é fator determinante para a variação da pressão.

O poder de evaporação em uma superfície porosa depende da quantidade de umidade contida na atmosfera em determinado instante, pois a evaporação do evaporímetro de piche é inversamente proporcional a umidade relativa do ar e ambos são ligados a temperatura do ar, ou seja, quanto maior a temperatura, maior a evaporação e menor a umidade relativa do ar.

Os valores da depressão do ponto de orvalho e da pressão de saturação de vapor são diretamente proporcionais, ou seja, quanto maior a depressão do ponto de orvalho, maior será a pressão de saturação de vapor.

A umidade absoluta, razão de mistura e umidade específica são máximas com os valores máximos de temperatura, entretanto, a umidade específica é mais eficaz para estimar a umidade da atmosfera e a umidade absoluta é a pior estimativa para quantificar a umidade da atmosfera.

Após a análise dos dados micrometeorológicos, foi possível entender que o ciclo diurno de algumas dessas variáveis é de suma importância para toma-

da de decisões, principalmente no que se refere a variabilidade no interior de algumas plantações ou culturas de interesse agrícolas.

REFERÊNCIAS

BRONDANI, D. V.; ACEVEDO, O. C. Estimativa da partição de energia na superfície a partir de séries meteorológicas de temperatura e umidade específica do ar. **Ciência e Natura**, v. esp, p. 122-124, 2013.

CORRÊA, C. S. **Estudo micrometeorológico da Camada Limite Planetária Estável na Região de Porto Alegre**. Porto Alegre, 1997. Dissertação (mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 61 p.

FERNANDES, A. L. T.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; TAKAI, B. Y. Comparação entre o método de determinação da evapotranspiração de referência Penman-Piche com o método Penman-Monteith para a região de Uberaba/Mg. In: **VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, 2009, Vitória. Anais Cd Rom. Brasília: Embrapa Café, 2009.

GEVAERD, R.; FREITAS, S. R. Estimativa operacional da umidade do solo para iniciação de modelos de previsão numérica da atmosfera parte i: descrição da metodologia e validação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3, p. 1-15, 2006.

JARDIM, C. H. Relações entre temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica em área urbana: comparação horária entre dois bairros no muni-

cípio de São Paulo-SP. **Geografias (UFMG)**, v. 12, p. 128-142, 2012.

MAGNAGO, R.; FISCH, G.; MORAES, O. Análise espectral do vento no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). **Rev. bras. meteorol.** [online], v. 25, p. 260-269, 2010.

PEIXOTO, A. M.; TOLEDO, F. F. **Enciclopédia agrícola brasileira**. São Paulo: Edusp: FAPESP; 2002.

RODRIGUES, E. **Conforto térmico das construções**. IFSC. 2003. Disponível em: <http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/c/c6/Transmissao_de_Calor_em_Edificacoes.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2015.

SANCHES, L.; VALENTINI, C. M. A.; BIUNDES, M. S.; NOGUEIRA, J. S. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** [online], v. 13, p. 183-189, 2009.

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

UWYO.EDU. University of Wyoming. **Atmospheric Science**. Laramie, WY. Disponível em: <<http://www-das.uwyo.edu/~geerts/cwx/notes/chap01/diurnal.html>>. Acesso em: 30 jun. 2015.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. VERSÃO DIGITAL 2, Recife: 2006.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Artigo recebido em 04 de agosto de 2015.

Aceito em 14 de agosto de 2015.