

AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS PSICROMÉTRICAS EM QUATRO AMBIENTES PROTEGIDOS

Francisco Alexandre de Lima SALES (1); Elivânia Maria Sousa NASCIMENTO (2); José Antônio Delfino BARBOSA FILHO (3); Mariana Alexandre de Lima SALES (4); Weberte Alan SOMBRA(5); Fidel Carlos Barroso LUCAS(6)

- (1) Universidade Federal do Ceará – UFC, Campus do Pici, e-mail: sales.f.a.l@gmail.com.br
- (2) Universidade Federal do Ceará – UFC, Campus do Pici, e-mail: elivania_sousa@yahoo.com.br
- (3) Universidade Federal do Ceará – UFC, Campus do Pici, e-mail: zkdelfino@ufc.br
- (4) Instituto Federal Tecnológico do Ceará - IFCE, Sobral –CE, e-mail: mal_sales@hotmail.com
- (5) Universidade Federal do Ceará – UFC, Campus do Pici, e-mail: weberte_ufc@yahoo.com.br
- (6) Universidade Federal do Ceará – UFC, Campus do Pici, e-mail: fidel_cbl@hotmail.com

RESUMO

O cultivo protegido nos últimos anos tem tido um grande crescimento em área plantada e em aceitação por parte dos agricultores, sua utilização na olericultura têm permitido que seja produzido vegetais em épocas e em regiões antes impossíveis ou de alto risco econômico. Assim objetivou-se com esse trabalho avaliar o comportamento das variáveis psicrométricas em três ambientes distintos, sendo três estufas e um ambiente externo. O trabalho foi realizado nas estufas da agrometeorologia na Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici. Foram utilizados cinco Data loggers que coletavam dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar, um em cada ambiente determinado anteriormente. Foram realizadas coletas a cada minuto por três dias consecutivos, os ambientes se encontravam totalmente fechados sem influencia de ervas daninhas. Após as coletas foram calculadas as outras variáveis psicrométrica com o auxílio de planilhas eletrônicas especiais. A umidade relativa do ar foi a única variável psicrométrica que se comportou como uma parábola inversa ou inversamente a temperatura. As variáveis pressão de vapor em saturação, temperatura de bulbo úmido, volume específico do ar e entalpia se comportaram bem similares a temperatura de bulbo seco mas em percentuais diverentes, já as variáveis pressão de vapor, temperatura de ponto de orvalho e razão de mistura se comportaram de maneira bem similares entre si com variações percentuais, mais seus comportamentos são bem distintos da temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar.

Palavras-chave: Psicrometria, Estufa, microclima.

1 INTRODUÇÃO

O cultivo em estufas tem apresentado um papel de fundamental importância nos últimos anos, representando uma significativa parcela da produção das espécies olericulturas no Brasil, oferecendo a possibilidade de produção nos períodos de entressafras (SENTELHAS & SANTOS, 1995). No cultivo protegido as principais finalidades relacionadas às estruturas de proteção, são de anular os efeitos negativos das baixas temperaturas, geada, vento, granizo, excesso de chuva e encurtar o ciclo de produção aumentando a produtividade e a qualidade dos produtos (SGANZERLA, 1995).

A temperatura no interior de uma estufa pode variar de acordo com o volume de ar interno, altura do pé direito, sentido e incidência dos ventos, tipo de cobertura, material utilizado nas laterais, se há janelas ou cortinas, tipo de solo, cultivar, umidade relativa, incidência da radiação solar entre outros fatores.

Os fatores que talvez tenham uma maior importância em locais de baixa latitude com a região nordeste são os materiais de constituição ou construção das instalações. Malhas ou plásticos laterais com maior ou menor abertura, coberturas com plástico filme de diferentes espessuras e períodos de uso podem alterar a temperatura interna de ambientes protegidos em até 10°C (NASCIMENTO, 2010).

Segundo Silva et al. (2001) a umidade está diretamente relacionada à temperatura do ar. Para Goto e Tivelli (1998) em ambiente protegido a umidade relativa durante a noite chega a 100% e durante o dia com a elevação da temperatura, a umidade relativa do ar diminui, podendo, nas épocas mais quentes do ano, reduzir a produção.

São diversas as variáveis relevantes no processo de produção em um ambiente protegido, assim como na produção a céu aberto, destes fatores o climático tem uma considerável influência no processo de produção, mas por esse estudo climatológico ter muitas variáveis, algumas destas são negligenciadas com poucos estudos aplicados à área de produção vegetal protegida, podendo ter inferência positiva em variáveis produtivas não assimiladas até o momento.

Nos estudos climatológicos em micro-escala apresentam-se diversas variáveis, entre essas as psicrométricas. Já muito difundidas nos estudos de ambiência animal essas variáveis englobam temperatura de bulbo seco; umidade relativa do ar; pressão atmosférica; pressão de vapor em saturação; pressão de vapor; temperatura do ponto de orvalho; temperatura de bulbo úmido; razão de mistura; entalpia; e volume específico.

Temperatura de bulbo seco ou temperatura do ar é a energia propagada na forma de calor, decorrente da transformação da energia eletromagnética de ondas curtas ou longas (provenientes da radiação solar) na forma de energia termal tendo como meio de propagação o ar (MENDES, 2008).

Umidade relativa do ar é o vapor d'água presente na atmosfera (COSTA, 2003).

Pressão de vapor é apresentada quando o ar em condições atmosféricas normais tem certo teor de água. Pela Lei de Dalton existirá, portanto, uma pressão parcial desse vapor de água. Essa pressão é de grande importância para muitos fenômenos ligados à meteorologia e agronomia, pois, em conjunto com outros fatores como temperatura, vento etc., determina a taxa de evaporação da água líquida.

A pressão de vapor de saturação é uma função não linear da temperatura do ar.

Temperatura de ponto de orvalho é a temperatura no qual o vapor se condensa ou solidifica quando é resfriado a pressão constante e conteúdo de umidade constante (MARTINELLI, 2010).

Temperatura de bulbo úmido é determinada induzindo-se resfriamento por evaporação através da inserção de um meio úmido em um termômetro de bulbo seco (UFPR, 2010).

A razão de mistura é usualmente expressa em gramas de vapor por quilograma de ar seco, o que é feito multiplicando-se ϵ (razão entre as massas moleculares do vapor d'água e do ar seco) por 1000. (SOUZA, 2001).

Entalpia é a variável física que indica a quantidade de calor contida em uma mistura de ar seco (NÄÄS et al., 1995), e esta grandeza é geralmente representada pelo símbolo H .

O volume específico é o volume ocupado por uma unidade de massa (m^3/kg). O volume específico do ar seco pode ser derivado da lei dos gases ideais.

Segundo Holmes e Robertson, citado por Souza (1989), a primeira tentativa de relacionar a fenologia de plantas com índices bioclimáticos baseados na temperatura do ar foi proposta por Reumer em 1735. Deste tempo diversas relações são constituídas entre variáveis de produção correlacionadas com temperatura do ar e umidade relativa do ar, mais as outras variáveis psicrométricas tem sido pouco citadas e muito negligenciadas para as interações e avaliações de para agrícolas em ambientes protegidos com finalidades de produção vegetal.

O presente trabalho teve como finalidade a avaliação das variáveis psicrométricas em cinco ambientes sendo três estufas com cobertura de plástico leitoso, um em ambiente de telado, e uma testemunha como ambiente externo para realizar sua inferência para escolha de cultura e identificações de ações a serem tomadas e possíveis problemas que possam vir a ocorrer.

2 METODOLOGIA

O experimento foi realizado nas estufas da estação agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, em Fortaleza, Ceará, Brasil (latitude $3^{\circ}45'S$ longitude $38^{\circ}33'W$ e altitude de 19 m). De acordo com a classificação de Köppen, a área do experimento está localizada numa região de clima Aw' , que se caracteriza por possuir um clima chuvoso, com precipitações de outono a verão e temperatura média

maior de 18°C durante o ano inteiro. A temperatura e umidade do ar nos ambientes foram monitoradas com auxílio de Data Logger Hobbo U10. Os Data Loggers foram instalados em cada ambiente a uma altura de 1,0 m da superfície do solo. As medidas de temperatura e umidade relativa do ar foram obtidas instantaneamente em intervalos de um minuto durante três dias em cinco ambientes distintos, três estufas, um telado e um ambiente externo, todos os quatros ambientes protegidos tem as dimensões de 6,4 x 12,0 m com o pé direito de 3,0m, sendo que as estufas são cobertas por plástico de 100µm e se diferenciavam pelo material constituinte das laterais sendo: o ambiente antiafideo (AA) coberto por tela antiafídica com 0,24mm de malha; o ambiente com termo-refletor (TR) coberto nas laterais com tela de 0,50 mm e uma malha termo-refletora de 50% na altura do pé direito com o objetivo de sombreamento interno; o ambiente com Sombrite (SO) coberto por sombrite 50% nas laterais e outra camada com o objetivo de sombreamento interno na altura do pé direito; o ambiente denominado telado (TE) constituído por cobertura de tela de 0,50 mm nas laterais e na parte superior equivalente à cobertura sem a utilização de plástico leitoso. O ambiente externo (EX) teve as mesmas condições físicas que os outros ambientes. O experimento foi realizado no período de 26 a 28 de março de 2010 completando três ciclos, os ambientes ficaram totalmente fechados durante o período do experimento, não havia nenhuma cultura implantada ou incidência de ervas daninhas nos ambientes, as estufas estavam orientadas no sentido leste Oeste. Após a coleta dos dados de umidade e temperatura os dados foram levados para determinação das outras variáveis através de uma planilha eletrônica desenvolvida pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará - UFC Área de Engenharia de Sistemas Agrícolas. Após a determinação deste foram avaliados através do programa Excel para análise e elaboração de gráficos.

3 RESULTADO E DISCUSSÕES

3.1 Temperatura

A variação da temperatura de bulbo seco ocorreu da mesma maneira em todos os ambientes, diferenciando-se apenas pela sua intensidade que foram maiores nos ambientes AA, TR, SO, com temperaturas máximas de 40,5; 36,2; 37,7 respectivamente, já o ambiente telado se apresentou com temperaturas muito próximas a do ambiente externo com máximas de 30,5 e 30,4 respectivamente para ambiente TE e EX respectivamente.

As temperaturas tiveram um comportamento praticamente igual para os horários de 18h00min as 07h00min, sendo que após este horário todos os ambientes se comportaram de maneira diferenciada como mostra a Figura 1.

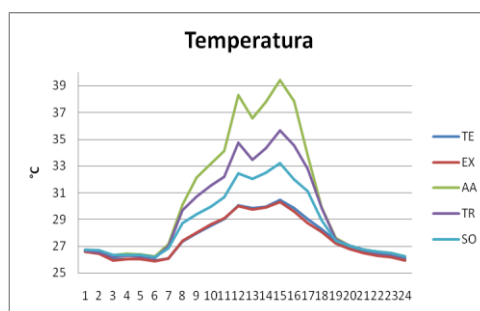


Figura 1 - Temperatura de Bulbo Seco

3.2 Pressões de vapor em saturação

A pressão de vapor em saturação teve um comportamento similar ao da temperatura do bulbo seco, sendo que suas variações máximas foram praticamente o dobro da temperatura. A variação máxima temperatura entre o ambiente externo e o AA, TR, SO e TE foram de 29,95; 17,66; 9,56; 0,43% respectivamente, enquanto que a pressão de vapor em saturação variou de 65,36; 35,06; 17,85; 0,75 respectivamente para AA, TR, SO e TE como referência a máxima temperatura do ambiente externo como mostrado na Figura 2.

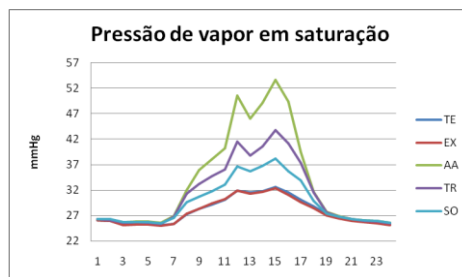


Figura 2 – Pressão de Vapor em Saturação

3.3 Pressão de vapor

Esta variável teve um comportamento totalmente não similar às variáveis de entrada (temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar), mas a tendência mostra que este parâmetro é mais sensível à variação da umidade relativa do ar, pois como mostra a Figura 3 de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar houve uma maior variação na umidade entre o início do experimento e o fim do mesmo de 80,14% para 91,95% respectivamente, sendo que a variação da temperatura foi de apenas 0,5°C (26,66 às 0h00min e 26,14 às 23h00min). O que é bem relacionado com a Figura 3. Segundo Valandro (2007) o déficit de saturação do ar (variável obtida pela diferença entre pressão de saturação de vapor e a pressão parcial de vapor) é o elemento meteorológico que mais influenciou o consumo de água do tomateiro cultivado em estufa plástica, tanto na primavera quanto no outono.

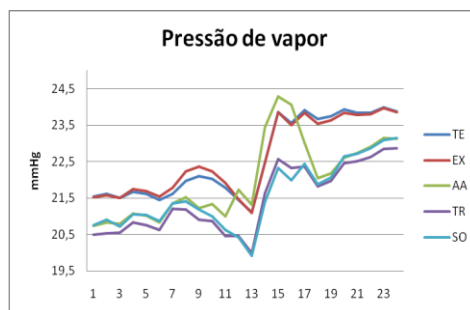


Figura 3 - Pressão de Vapor

3.4 Temperatura do ponto de orvalho

A temperatura de ponto de orvalho seguiu o mesmo sentido da pressão de vapor. Um ponto bem relevante na Figura 4 como na Figura 3 anteriormente citada, diz respeito ao padrão semi-idêntico assumido pelos ambientes SO e TR que nas variáveis de temperatura de bulbo seco e umidade assumiam tendências distintas. Contudo os ambientes EX e TE continuam tendo comportamentos similares entre si. Segundo Baptista et al. (2001) a condensação que acontece quando a temperatura do ar está abaixo da temperatura do ponto de orvalho provoca efeitos indesejáveis, tais como a redução da transmissão da luz devido à reflexão e o possível gotejamento, que favorece o aparecimento de doenças provocadas por fungos, sendo que o ideal seria manter a temperatura da superfície foliar acima do ponto de orvalho, de modo a prevenir a ocorrência de condensação e limitar o aparecimento de doenças nas plantas (BARTZANAS et al., 2005).

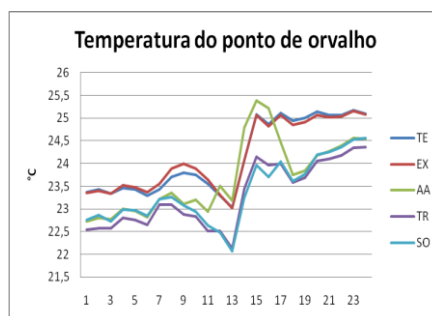


Figura 4 – Temperatura de Ponto de Orvalho

3.5 Temperatura de bulbo úmido

O comportamento da temperatura de bulbo úmido se comportou como o esperado bem similar ao da temperatura de bulbo seco com variações com a temperatura média de todos os ambientes 2°C menores que as temperaturas de bulbo seco. Mas a temperatura máxima do ambiente AA chegou a ter uma variação de 10°C em comparação a temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido no horário de 14h00min. Segundo Scaranari (2008) o resfriamento evaporativo é um processo que reduz a temperatura de ar pela evaporação da água em contato com um fluxo de ar, a eficiência deste sistema depende da diferença entre as temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido. Em regiões com depressão psicrométrica de 7 a 9°C, foram observadas quedas de temperatura de 4 a 7°C, e para depressões maiores (14 a 17°C), as quedas variaram de 8 a 11°C (WHITAKER, 1979).

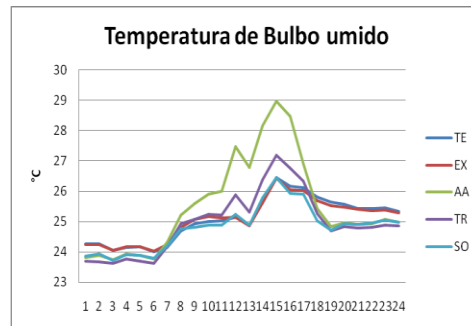


Figura 5 – Temperatura de Bulbo Úmido

3.6 Volume específico do ar

Na Figura 6 podemos observar o volume específico do ar onde o mesmo é influenciado basicamente pela temperatura dos ambientes, porém suas variações percentuais em relação aos ambientes EX e TE, foram bem menores que as encontradas na temperatura de bulbo seco, com 3,1; 1,6; 0,7% respectivamente para AA, TR, SO em contra partida os 29,9 ; 17,6 e 9,56% para as variações entre a temperatura máxima dos respectivos ambientes e a temperatura máxima do ambiente EX.

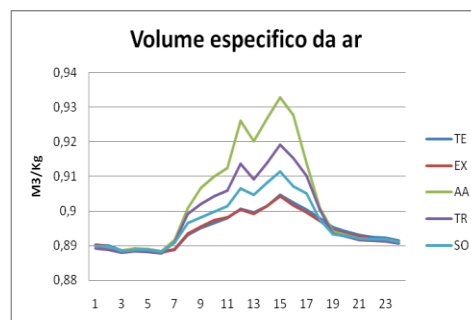


Figura 6 – Volume Específico do Ar

3.7 Entalpia

A entalpia exerceu uma maior influência a altas temperaturas e baixas umidades o que indica um maior desconforto térmico para os seres vivos, como visto na Figura 7 é possível observar um pico bem mais significativo que nas outras variáveis às 15h00min. A medição entalpia é considerada a melhor forma de avaliar o nível de conforto térmico, estudos bem relevantes tem sido realizados por Karytsas et al. (2003) na Grécia para aumentar a entalpia no interior das estufas com energia geotérmicas, nos períodos mais frios do inverno com determinação de redução de gás do efeito estufas e utilização de energia limpas.

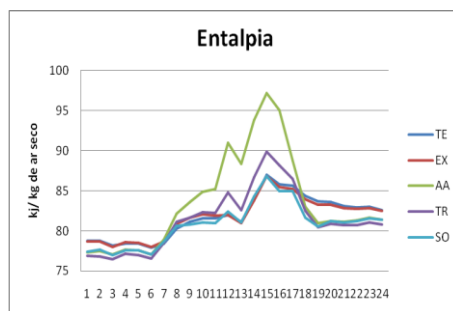


Figura 7 - Entalpia

3.8 Razão de mistura

A razão de mistura apresentou as mesmas tendências de pressão de vapor e temperatura de ponto de orvalho o qual apresentou um acentuado crescimento após às 13h00min conseguindo um pico às 15h30min com um rápida queda após este momento.

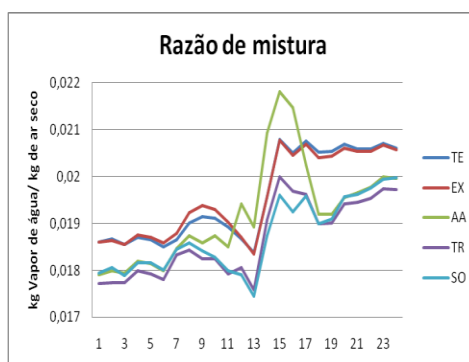


Figura 8 – Razão de mistura

3.9 Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar teve um comportamento inversamente proporcional à temperatura dos ambientes como era de se esperar. Na Figura 9 podemos observar que houve uma diminuição da umidade relativa nos horários de 06h00min horas até as 12h00min horas da manhã e um aumento no período de 14h00min horas as 17h00min horas sendo estabilizada após as 17h00min horas, neste período também foi constatado que após as 06h00min horas da manhã todos os três ambientes assumiram comportamento diferenciado sendo que o ambiente com telado foi o que mais se aproximou do ambiente EX e que o ambiente AA mais se distanciou do comportamento do ambiente EX.

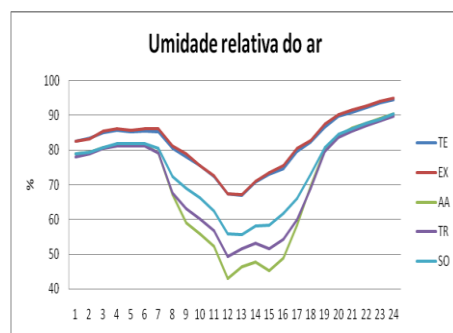


Figura 9 – Umidade Relativa do Ar

4 CONCLUSÕES

A umidade relativa do ar foi a única variável psicrométrica que se comportou como uma parábola inversa ou inversamente a temperatura. As variáveis pressão de vapor em saturação, temperatura de bulbo umido, volume específico do ar e entalpia se comportaram bem similares a temperatura de bulbo seco mas em

percentuais diferentes, já as variáveis pressão de vapor, temperatura de ponto de orvalho e razão de mistura se comportaram de maneira bem similares entre si com variações percentuais, mais seus comportamentos são bem distintos da temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar (temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar).

Outra fator importante a ser citado neste artigo é a importância de inferência destas variáveis acima na produção vegetal, pois estas podem ser de grande importância para determinação de tomadas de decisão em diversas atividades da produção vegetal através de estudos que façam estas relações.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, F. J.; ABREU, P. E.; MENESES, J. F.; BAILEY, B. J. **Comparison of the climatic conditions and tomato crop productivity in Mediterranean greenhouses under two different natural ventilation management systems.** n. 3006, p. 112-124. Proceedings of the International Symposium Agribuilding. Campinas, Brasil, 2001.

BARTZANAS, T.; TCHAMITCHIAN, M.; KITTAS, C. Influence of the Heating Method on Greenhouse Microclimate and Energy Consumption. **Biosystems Engineering**, 91(4):487–499, 2005.

COSTA, E. V. Medidas da Umidade Relativa do Ar em um Ambiente Fechado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 25, n. 3, Setembro, 2003.

GOTO R; TIVELLI W. **Produção de hortaliças em ambientes protegidos:** condições subtropicais. São Paulo: Fundação Editora. UNESP, 1998.

KARYTSAS, C.; MENDRINOS D.; GOLDBRUNNER, J. Low enthalpy geothermal energy utilization schemes for greenhouse and district heating at Traianoupolis Evros, Greece. **Geothermics**, n. 32, p. 69–78, 2003.

MARTINELLI JUNIOR, L.C. **Apostila Refrigeração e Ar-Condicionado:** Psicrometria. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/apostila-refrigeracao-e-ar-condicionado-pdf-a7659.html>> Acessado em: 8 de julho de 2010

MENDES, R. Apostila de Meteorologia e climatologia agrícola. 2008. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/3767246/APOSTILA-METEOROLOGIA-e-CLIMATOLOGIA-AGRICOLA-5-SEM>> Acessado em: 8 de julho de 2010.

NÄÄS, I.A.; MOURA, D.J.; LAGANÁ, C.A. Utilização da entalpia como variável física de avaliação do conforto térmico na avicultura de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA E AVÍCOLAS, 1., 1995, Curitiba. **Anais...** Campinas: Facta, 1995. p.201-2.

NASCIMENTO, E.M.S.; VILIOTTI, C.A.; SALES, F.A.L.; BARBOSA FILHO, J.A.D.; DANTAS, M.J.F. Comportamento da temperatura e umidade relativa do ar em diferentes tipos de ambientes protegidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2010, Ribeirão Preto, **Anais....** Ribeirão Preto: São Paulo. CD-ROM.

SCARANARI, C.; LEAL, P. A. M.; PELLEGRINO, G. Q. Estudo de simulações de microclimas em casas de vegetação visando à aclimação de mudas micropropagadas de Bananeira cv grande naine. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, p. 1001-1008, 2008.

SENTELHAS P.C; SANTOS, A.O. 1995. Cultivo protegido: aspectos microclimáticos. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v.1, n.2, p. 108-115, 1995.

SGANZERLA E. Nova Agricultura: **A fascinante arte de cultivar com os plásticos.** 5. ed. Guaíba: Agropecuária, p. 342. 1995.

SILVA, W. C. M. da.; RICIERI, R. P.; AMORIM, R. C. F. de.; GRIGOLETO, M. W.; DALLACORT, R. Temperatura do ar e a duração dos estágios fenológicos do milho. In: Congresso Brasileiro de Biometeorologia, **Anais...**2001.

SOUZA, J. L. **Avaliação agroclimática de quatro microrregiões do Estado de Minas Gerais para alguns cultivares de Feijão (Phaseolus vulgaris)**. Dissertação (mestrado em Agrometeorologia) – Universidade Federal de Viçosa/ MG. 1989.

SOUZA, E. P.; LEITÃO, M. V. B. R.; BARBOSA, T. F. Características da atmosfera superior, a partir de dados de alta resolução obtidos à superfície. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.5, n.3, p.463-468, 2001.

UFPR- Universidade Federal do Para. Medidas de umidade. Disponível em: <
<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap5/cap5-5.html>> Acessado em: 8 de julho de 2010.

VALANDRO, J.; BURIOL, G. A. B.; ANDRIOLO, J. L.; HELDWEIN, A. B. Transpiração do tomateiro cultivado fora do solo em estufa plástica e sua relação com os elementos meteorológicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.6, p.1593-1600, 2007.

WHITAKER, J.H. **Agricultural building and structure**. Heston: Heston Publishing Company, 1979. 289 p.