

CONFORTO TÉRMICO EM ESTUFAS DE PRODUÇÃO DE TOMATES

MAYSA NUNES DE SANTANA¹, MAURO J. A. TERESO², ROBERTO F. ABRAHÃO³

1. Eng^a. Civil, Mestra, Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, Brasil, Fone: (019) 33955680, maysanunes@ig.com.br

2. Eng^o. Agrícola, Professor Livre Docente, FEAGRI/UNICAMP, Campinas – SP.

3. Eng^o. Agrícola, Professor Livre Docente, FEAGRI/UNICAMP, Campinas – SP.

Apresentado no

XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014

27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil.

RESUMO: Em regiões de clima quente, o trabalho em estufas agrícolas acontece em condições de temperaturas elevadas. Este estudo procurou avaliar as condições de conforto térmico para os trabalhadores e a influência do uso do sombreamento, em duas estufas de produção de tomates idênticas, diferenciadas somente pelo uso de tela termorrefletora em uma delas. Avaliaram-se as condições de conforto térmico através do Voto Médio Estimado (VME). Utilizou-se o Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG) quando caracterizadas condições passíveis de sobrecarga térmica. Os valores do VME calculado foram maiores para a estufa sem sombreamento, sinalizando para condições térmicas mais desfavoráveis. Quando caracterizada sobrecarga térmica, o tempo de interrupção do trabalho calculado foi 59,76% maior na estufa sem sombreamento. Concluiu-se que, em grande parte do período analisado, o trabalho nas estufas foi realizado sob condições termicamente desconfortáveis. O elemento de sombreamento influenciou sobre as condições do ambiente interno, diminuindo o desconforto causado pelo calor durante a jornada de trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: conforto térmico; estufas; estresse térmico.

THERMAL COMFORT AND THERMAL STRESS IN GREENHOUSES

ABSTRACT: The human labor in greenhouses takes place under high temperatures, especially in warm climate regions. To mitigate the solar radiation flux that can impair plant metabolism, shade screens is commonly used. This study sought to evaluate the conditions of thermal comfort for workers and the influence of the use of the shading element on thermal comfort in two identical greenhouses, differentiated only by the use of thermal reflector screen on one of them. The thermal comfort was evaluated through the Predicted Mean Vote (PMV). The index Wet Bulb Globe Thermometer (WBGT) was used when the working conditions could be characterized as susceptible to thermal overload. The calculated PMV values were higher for the greenhouse without shading, signaling more unfavorable thermal conditions. As for the thermal overload, the calculated resting time was 59.76% greater in the greenhouse without shading. It was found that, in much of the working period studied, work was carried out in greenhouses under thermally uncomfortable conditions. The shading element did influence the greenhouse internal environment, reducing the discomfort caused by heat during the workday.

KEY WORDS: thermal comfort; greenhouses; thermal stress.

INTRODUÇÃO

A agricultura ocupa lugar relevante na economia em todo o mundo, principalmente devido à necessidade de produção de alimentos e à grande quantidade de pessoas empregadas. Aliadas às técnicas agrícolas convencionais, o cultivo em estufas agrícolas vem sendo cada vez mais utilizado, por permitir produção contínua e com maior controle de qualidade.

Num país tropical, como o Brasil, a temperatura do ar é um fator determinante das condições de conforto em que as atividades se desenvolvem, uma vez que altera as condições de balanço térmico ideais, exigindo do organismo dos trabalhadores um maior esforço de adaptação, que pode ocasionar estresse térmico e desgaste acentuado (FROTA e SCHIFFER, 2001). A predominância de climas quentes e úmidos, aliada ao calor introduzido pelas atividades desenvolvidas e pelos equipamentos utilizados, torna comum a ocorrência de ambientes de trabalho com temperaturas do ar muito superiores às do ar exterior (RUAS, 1999). No caso particular do trabalho agrícola, vários estudos comprovaram que a temperatura no interior do ambiente protegido é significativamente maior que no ambiente externo (TIVELLI, 1998; CASTILLA, 2005; GUSMÃO et al., 2006; FERRE et al., 2011).

Nas regiões onde a radiação solar é mais intensa, telas de sombreamento têm sido usadas em estufas com o objetivo de atenuar a densidade de fluxo de radiação de onda curta, que influencia diretamente o crescimento e as condições de fitossanidade, além de restringir o aumento excessivo da temperatura interna do ar, tornando-a adequada às exigências da cultura. Entretanto a temperatura ideal para a cultura nem sempre o é para o trabalhador.

No Brasil, não dispomos de método normatizado para avaliação da sensação térmica. A legislação brasileira que trata das condições térmicas nos ambientes de trabalho orienta-se para a avaliação da sobrecarga térmica com risco potencial de dano à saúde e estabelece limites de tolerância para a exposição ao calor Através da Norma Regulamentadora 15 (NR 15): Atividades e Operações Insalubres da Portaria 3214 (BRASIL, 1978). Utiliza-se do índice de bulbo úmido termômetro de globo IBUTG e aplica-se a ambientes externos ou internos, com ou sem carga solar direta, não se destinando à caracterização de conforto.

A avaliação das condições de conforto térmico do ambiente foi realizada de acordo com a Norma ISO 7730:2005(E). Esta norma tem por base o modelo dos Votos Médios Estimados (VME) e da Porcentagem Estimada de Insatisfeitos (PEI), desenvolvido por Fanger, em 1970, aplicando-se a indivíduos saudáveis e a ambientes térmicos moderados. O VME consiste numa escala de sete pontos, que varia de -3 a +3, correspondendo, respectivamente, a condição de muito frio a muito quente, e simétrica em relação ao ponto 0 (condição de conforto). Para o cálculo do VME, é necessário determinar as variáveis pessoais – taxa de metabolismo e isolamento térmico da vestimenta – e as variáveis ambientais – temperatura do ar, velocidade relativa do ar, temperatura radiante média e umidade relativa do ar (RUAS, 1999).

Com o objetivo de estimar a sensação térmica dos trabalhadores nas estufas utilizando os índices de avaliação de conforto térmico (VME) e de sobrecarga térmica (IBUTG), foram avaliadas duas estufas agrícolas de produção de tomates, idênticas diferenciadas pela utilização de tela termorrefletora em uma delas. Buscou-se comparar as condições encontradas nas duas estufas agrícolas e a influência do elemento de sombreamento.

MATERIAL E MÉTODOS

Nesta pesquisa foram selecionadas duas estufas agrícolas localizadas na cidade de Rio das Pedras-SP, coordenadas geográficas 22°30' Sul e 47°21' Oeste, com altitude de 620m. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo mesotérmico, Cwa (tropical de altitude com verão chuvoso e estiagem no inverno). A temperatura média anual é de 21,3° e o total da precipitação média é de 1257,8mm.

As estufas eram idênticas quanto à orientação, dimensões, materiais construtivos, manejo da produção, cultivares e operadas pelos mesmos trabalhadores. A única diferenciação consistiu na utilização de sombreamento em uma delas, elemento capaz de influir nas condições do ambiente interno. O período de coleta de dados foi de 16/08/2012 a 26/10/2012.

Na estimativa das condições de conforto, foram elencadas as atividades consideradas de maior exigência física e calculada a taxa metabólica de acordo com a tabela B.1 da ISO 7730:2005 (E). Quanto ao isolamento térmico da vestimenta, considerou-se a mais comumente usada pelos trabalhadores, e foi determinado pelo somatório dos valores de isolamento de todas as peças, conforme a tabela C.2 da ISO 7730:2005 (E).

A velocidade do ar foi medida com um anemômetro de fio quente digital, marca Testo 405 V1. Semanalmente, a velocidade do ar foi calculada pela média de 03 medições, mensuradas a cada 10 segundos, de 30 em 30 minutos, durante a jornada de trabalho.

Utilizaram-se três conjuntos iguais de aparelhos de medição, programados para registrar ininterruptamente os dados relativos a temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura de globo a intervalos de 15 minutos. Dentro de cada estufa foi instalado um conjunto, no corredor central da área de plantio, e outro conjunto no ambiente externo, na área entre as estufas. Todos eles foram posicionados a 1,70m de altura, conforme a ISO 7726:1998. Cada conjunto era composto por: 01 data logger com 2 canais de temperatura e umidade e com sensor externo de umidade, marca Testo H1; 01 data logger com 2 canais de temperatura (do ar e de globo), sensor interno e conexão externa para sensor, marca Testo T2; 01 sonda ambiente de temperatura; 01 globo plástico cinza de 40 mm e 01 conjunto de proteção.

Os dados coletados foram importados dos aparelhos com a utilização do Testo Comfort Software Basic 5.0. Foram construídas as curvas da variação da temperatura do ar e umidade para a estufa com sombreamento (ECS), para a estufa sem sombreamento (ESS) e para o ambiente externo (EXT), bem como calculados os valores máximos, médios e mínimos diários. As médias foram comparadas entre as duas estufas e entre cada estufa e o ambiente externo, através de análise de variância (ANOVA), ao nível de significância de 95%.

Para o cálculo do VME foi utilizado o software Conforto 2.03, desenvolvido por Álvaro Ruas em sua tese de doutorado na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, em 2002, ferramenta capaz de fornecer uma estimativa da sensação térmica. Os dados foram restringidos às duas estufas, uma vez que não havia atividades laborais na área externa.

Os valores da temperatura de globo, da temperatura do ar e velocidade relativa do ar permitiram o cálculo da temperatura radiante média de acordo com a ISO 7726:1998.

Para a avaliação do estresse térmico, a partir dos valores de umidade relativa do ar, da temperatura do ar e da altitude barométrica local, foi calculado o valor correspondente da temperatura de bulbo úmido natural utilizando-se o software Psicro v.1, desenvolvido pelo Departamento de Arquitetura e Urbanismo (DAU) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), em 2001.

O cálculo do IBUTG foi realizado de acordo com a NR15, para condição de trabalho sem carga solar direta, através da equação 1, considerando a temperatura de bulbo úmido natural (tbn) e a temperatura de globo (tg):

$$\mathbf{IBUTG = 0,7tbn + 0,3 tg} \qquad \text{equação 1}$$

Para caracterizar as condições de trabalho intermitente, de acordo com o Quadro 1 do Anexo 3 da NR 15 (figura 1), os valores de IBUTG foram calculados a intervalos de 15 minutos e calculado o valor IBUTG médio ponderado para uma hora. Os valores obtidos foram comparados entre as estufas e analisados estatisticamente com a utilização do teste de Tukey a 95% de significância.

| Regime de Trabalho Intermitente com Descanso no Próprio Local de Trabalho (por hora) | | | |
|--|---------------|----------------------|---------------|
| TIPO DE ATIVIDADE | LEVE | MODERADA | PESADA |
| Trabalho contínuo | Até 30,0 | Até 26,7 | Até 25,0 |
| 45 minutos trabalho 15 minutos descanso | 30,1 a 30,6 | 26,8 a 28,0 | 25,1 a 25,9 |
| 30 minutos trabalho 30 minutos descanso | 30,7 a 31,4 | 28,1 a 29,4 | 26,0 a 27,9 |
| 15 minutos trabalho 45 minutos descanso | 31,5 a 32,2 | 29,5 a 31,1 | 28,0 a 30,0 |
| Não é permitido o trabalho sem a adoção de medidas adequadas de controle | Acima de 32,2 | Acima de 31,1 | Acima de 30,0 |

Figura 1: Quadro 1 do Anexo 3 da NR15

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As atividades consideradas fisicamente mais exigentes pelos trabalhadores foram a colheita e o tutoramento, e corresponderam a uma taxa metabólica de 2,0met ou 116W/m².

Observou-se que a vestimenta comumente utilizada consistia em camiseta de manga curta, camisa de algodão manga longa, calça de algodão, calcinha e sutiã ou cueca, meias de algodão à altura do tornozelo, botas e luvas. O valor do isolamento térmico consistiu no somatório dos valores de isolamento dessas diversas peças, e correspondeu a 0,82clo. Constatou-se, através das medições, a praticamente inexistente movimentação do ar no interior das estufas. De acordo com a tabela E7 da ISO 7730:2005 (E), considerou-se o valor de 0,3 m/s para a velocidade relativa do ar.

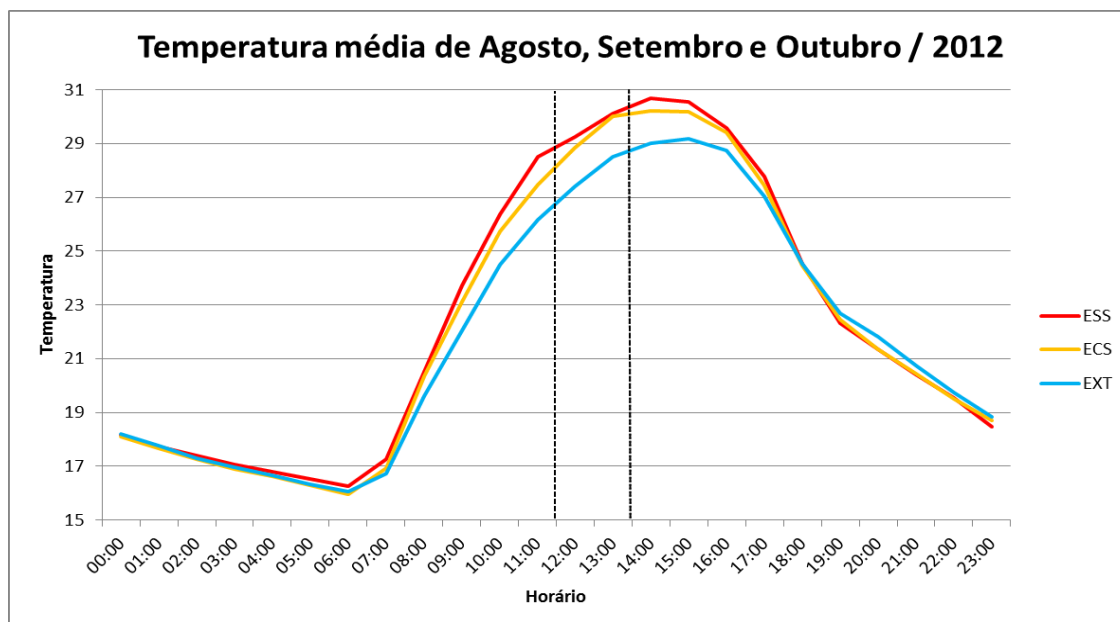


Figura 2: Gráfico das temperaturas médias nos meses avaliados

No período avaliado, as temperaturas médias do ar foram: na ESS de 30,91°C; na ECS de 29,70°C; e no EXT de 27,92°C. Comprovou-se através de análise de variância que as temperaturas médias do ar foram significativamente diferentes nos três ambientes, nos horários em que o sombreamento foi utilizado e durante toda a jornada de trabalho (figura 2).

O ambiente externo apresentou os menores valores, uma vez que a utilização da cobertura plástica altera o microclima interno das estufas, diferenciando-o do exterior. Isto

corroborar o que foi estudado por LOPES & STRIPARI (1998), ANDRIOLO (2000) e CASTILLA (2005) sobre o fluxo de energia entre atmosfera e solo, que é modificado pela cobertura plástica, influenciando sobre a umidade, a luminosidade e a temperatura do ar – em relação à última, propiciando seu aumento.

Entre as duas estufas, os maiores valores de temperatura do ar foram registrados na ESS. A ocorrência de menores valores de temperatura do ar na ECS pode ser atribuída ao uso da tela termorrefletora metalizada por alumínio, que reflete parte da radiação solar, reduzindo sua incidência no interior da estufa.

Os valores de VME foram calculados para toda a jornada de trabalho, a cada 30 minutos, e as ocorrências por faixas de valores estão sintetizadas na tabela 1.

Tabela 1. Ocorrências de VME a cada 30 minutos ao longo de todo o período

| VME | PERÍODO | | | | | | | |
|-----------------------|---------------|-----|-----------------|-----|----------------|-----|------------------|-----|
| | <u>agosto</u> | | <u>setembro</u> | | <u>outubro</u> | | <u>acumulado</u> | |
| | ESS | ECS | ESS | ECS | ESS | ECS | ESS | ECS |
| $-2 \leq VME \leq +2$ | 129 | 149 | 171 | 182 | 103 | 124 | 403 | 455 |
| $+2 < VME < +3$ | 117 | 100 | 075 | 100 | 107 | 129 | 299 | 329 |
| $VME \geq +3$ | 006 | 003 | 096 | 060 | 126 | 083 | 228 | 146 |

A utilização do índice VME é recomendada para ambientes térmicos moderados ($-2 \leq VME \leq +2$), com variáveis compreendidas nos seguintes intervalos: taxa de metabolismo (M): 46 a 232 W/m² ou 0,8 a 4,0 met; isolamento térmico da vestimenta (Icl): 0 a 0,310 m².°C/W ou 0 a 2,0 clo; velocidade relativa do ar (Var): 0 a 1,0 m/s; temperatura do ar (ta): 10 a 30°C; temperatura radiante média (trm): 10 a 40°C e umidade relativa: 30% a 70%. Nos ambientes avaliados, as três primeiras condições foram encontradas (M = 2,0 met, Icl = 0,82 clo, Var = 0,3 m/s). Entretanto, em diversos dias e horários, a umidade relativa apresentou valores fora da faixa recomendada e as temperaturas do ar e radiante média ultrapassaram os valores limites e, conseqüentemente, os valores limites do VME para ambientes moderados.

O cálculo dos valores médios do VME durante a jornada de trabalho comprovou as diferenças entre as duas estufas. Os valores foram menores na ECS, sinalizando para condições termicamente menos desconfortáveis. O mês de agosto foi, comparativamente, o mais ameno, com valores de temperatura do ar, temperatura radiante média e umidade relativa compatíveis com os recomendados para a avaliação das condições de conforto através do VME. Em todos os meses ocorreram valores de VME acima de +3, caracterizando situações de extremo desconforto, passíveis de ocorrência de sobrecarga térmica, principalmente nos meses de setembro e outubro. Os resultados apontam para uma relação clara entre os valores das temperaturas e o armazenamento de calor, atribuído principalmente à radiação solar e para o qual contribui a dificuldade de perda por ventilação nos dois ambientes. Em todos os meses, os maiores valores de VME corresponderam aos encontrados na ESS.

O Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG) foi calculado para todos os horários da jornada de trabalho com o objetivo de verificar se a sobrecarga térmica ocorreria somente nos horários em que os valores calculados para o VME fossem superiores a +3 ou se poderia ocorrer em horários em que o índice fosse menor que +3. Essas duas possibilidades foram verificadas. No período analisado, ocorreram valores de IBUTG correspondentes à sobrecarga térmica com valores de VME inferiores a +3, em 21 horários na ECS e em 36 horários na ESS. Na ECS os horários corresponderam, em sua maioria, a condições de umidade mais elevadas, e ressalte-se que, em todos esses horários, na ESS os valores

calculados para o VME já eram superiores a +3, evidenciando as melhores condições do ambiente sombreado. Quando analisadas as ocorrências em que os valores de VME superiores a +3 não corresponderam à sobrecarga térmica, permitindo trabalho contínuo, encontrou-se valores de 48 horários na ECS e 61 na ESS. Vale destacar que os valores encontrados para o IBUTG na ECS foram sempre menores que os da ESS, e que estes, na maioria das vezes, encontravam-se próximos aos valores iniciais indicativos de sobrecarga térmica.

Os valores do IBUTG calculados foram classificados e as ocorrências por faixas de valores estão sintetizadas na tabela 2.

Tabela 2. Ocorrências de IBUTG em condição de sobrecarga térmica a cada 30 minutos

| período | estufa | IBUTG para atividade moderada | | | | |
|-----------|--------|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| | | até 26,7 | 26,8 a 28,0 | 28,1 a 29,4 | 29,5 a 31,1 | > 31,1 |
| acumulado | ESS | 733 | 88 | 67 | 28 | 14 |
| | ECS | 781 | 91 | 38 | 14 | 6 |

A comparação dos valores de IBUTG entre as estufas apresentou resultados análogos aos obtidos com o VME, com valores menores na estufa sombreada, sinalizando novamente para um ambiente térmico menos desconfortável. Observa-se que, em 84,8% da jornada de trabalho na ECS e em 79,9% na ESS, as condições ambientais indicam inexistência de sobrecarga térmica, permitindo trabalho contínuo. Esses percentuais corresponderam em sua maioria aos horários iniciais da jornada de trabalho.

Comprovou-se através do teste de Tukey, ao nível de confiança de 95%, que o tempo de trabalho contínuo e o tempo de pausa nas duas estufas foram diferentes. Estes resultados sintetizados são apresentados na tabela 3. O tempo de trabalho contínuo permitido a ECS foi de 74,38% do período em que houve sobrecarga térmica, contra 59,06% para a ESS. No total dos períodos analisados, a ESS apresentou 59,76% mais tempo de interrupção que a ECS; nos meses de setembro e outubro, essa diferença foi de 36,02% e 70,18%, respectivamente, deixando clara a caracterização de situações de trabalho menos desconfortáveis para a ECS.

Tabela 3. Tempo de trabalho contínuo e de pausas no período de sobrecarga térmica

| Mês | Período de sobrecarga (min) | Estufa ESS | | | | Estufa ECS | | | |
|-------|-----------------------------|-------------|-------|-------------------|--------------|-------------|-------|-------------------|--------------|
| | | pausa | | trabalho contínuo | | pausa | | trabalho contínuo | |
| | | tempo (min) | % | tempo (min) | % | tempo (min) | % | tempo (min) | % |
| Set. | 1680 | 510 | 30,36 | 1170 | 69,64 | 375 | 22,32 | 1305 | 77,68 |
| Out. | 3120 | 1455 | 46,63 | 1665 | 53,37 | 855 | 27,40 | 2265 | 72,60 |
| Total | 4800 | 1965 | 40,94 | 2835 | 59,06 | 1230 | 25,62 | 3570 | 74,38 |

CONCLUSÃO

A pesquisa permitiu comprovar que o trabalho nas estufas foi realizado em condições termicamente desconfortáveis em grande parte dos horários e que o uso do elemento de sombreamento influenciou sobre as condições do ambiente interno, diminuindo o desconforto causado pelo calor.

As duas estufas agrícolas apresentaram valores de temperatura do ar maiores que os do ambiente externo e valores de umidade relativa menores, que influíram diretamente sobre a sensação térmica, como demonstrado nos valores de VME encontrados.

Os valores de VME calculados para a estufa sombreada foram menores do que os encontrados na estufa sem sombreamento, sinalizando claramente para condições térmicas menos desconfortáveis.

No caso da avaliação da sobrecarga térmica, de acordo com a NR-15, houve diferença entre os valores de IBUTG calculados para as duas estufas, com recomendações de trabalho intermitente e de paralização do trabalho distintas para cada uma. A estufa sombreada apresentou menor tempo de interrupção do trabalho que a estufa sem sombreamento.

REFERÊNCIAS

- ANDRIOLO, J. L. Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.18, p.26-33, suplemento, 2000.
- BRASIL. Ministério do Trabalho. Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina do Trabalho. **Norma Regulamentadora 15**: Atividades e Operações Insalubres. Brasília, 1978.
- CASTILLA, N. **Invernaderos de plástico: tecnología y manejo**. Madrid: Mundi Prensa, 2005.
- FERRE, A. J.; AGUGLIARO, F. M.; PEREZ, M. D.; SANCHEZ, J. C. Improving the climate safety of workers in Almería-type greenhouses in Spain by predicting the periods when they are most likely to suffer thermal stress. **Applied Ergonomics**, v.42, p. 391-396, 2011.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 5ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- GUSMÃO, M. T. A.; GUSMÃO, S. A. L.; ARAÚJO, J. A. C. Produtividade de tomate tipo cereja cultivado em ambiente protegido e em diferentes substratos. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n.4, p. 431-436, out-dez. 2006.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726**: Thermal environments-instruments and methods for measuring physical quantities. Geneva - Switzerland, 1998.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: Ergonomics of the thermal environment. Geneva - Switzerland, 2005.
- LOPES, M. C.; STRIPARI, P. C. A Cultura do Tomateiro. In: GOTO, R.; TIVELLI, S. W. **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. Cap. 12. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, p.257-304, 1998.
- RUAS, A. C. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. São Paulo: Fundacentro, 1999.
- TIVELLI, S. W. Manejo do ambiente em cultivo protegido. In: GOTO, R.; TIVELLI, S. W. **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo, Fundação Editora da UNESP, p.15-30. 1998.