

# TEMPERATURA DO AR NO INTERIOR DE ESTUFA PLÁSTICA SOB DIFERENTES MANEJOS DAS JANELAS LATERAIS EM RELAÇÃO ÀS VARIÁVEIS EXTERNAS

PAULO E. STÜKER<sup>1</sup>, EVANDRO Z. RIGHI<sup>2</sup>, CRISTIANO L. ERTEL<sup>3</sup>, ARNO B. HELDWEIN<sup>2</sup>, NEREU A. STRECK<sup>2</sup>, SANDRO L. P. MEDEIROS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando do curso de Eng. Florestal, UFSM, Santa Maria - RS, Fone: 55 9958 4332, e-mail: [paulostuker@gmail.com](mailto:paulostuker@gmail.com).

<sup>2</sup> Agrônomo, Prof., Departamento de Fitotecnia, CCR/UFSM, Santa Maria- RS.

<sup>3</sup> Graduando do curso de Agronomia, UFSM, Santa Maria-RS

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011  
– SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari – ES

**RESUMO:** O objetivo do trabalho foi relacionar a temperatura no interior da estufa ( $T_{in}$ ) com as variáveis externas, diferenciando dois ambientes: um priorizando a abertura da janela frontal ao vento (AN) e o outro priorizando a abertura da janela a sotavento da estufa na direção do vento (AS) quando a temperatura foi mais amena. Nas horas mais quentes, os dois lados foram abertos. O experimento foi realizado no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS. As variáveis meteorológicas no exterior da estufa foram obtidas da estação meteorológica automática do 8° DISME. A diminuição de  $T_{in}$  foi mais intensa quando a janela frontal ao vento foi aberta primeiro. A variável externa mais significativa em explicar a variação de  $T_{in}$  foi a temperatura do ar, seguida pela radiação solar global ( $R_g$ ). Apenas quando a janela a sotavento do eixo da estufa na direção do vento estava aberta,  $R_g$  foi a variável mais significativa. As variáveis relacionadas ao vento, velocidade e direção, também foram significativas. A direção foi mais significativa que a velocidade do vento quando apenas a janela frontal ao vento estava aberta, e com os dois lados fechados. Nas demais condições estudadas, a velocidade do vento foi mais significativa.

**PALAVRAS-CHAVE:** ambiente protegido, ventilação, manejo da temperatura

## AIR TEMPERATURE INSIDE A PLASTIC GREENHOUSE WITH DISTINCT LATERAL WINDOW MANAGEMENT AND ITS RELATION WITH EXTERNAL METEOROLOGICAL VARIABLES

**ABSTRACT:** The objective of this work was to relate the air temperature inside a plastic greenhouse ( $T_{in}$ ) with external variables, differentiating two environments: one prioritizing the opening of the frontal window to the wind (AN) and the other one downstream the wind of the greenhouse longitudinal axis (AS) during the daily time with mild temperatures. During the hottest hours, both sides were open. The experiment was conducted in the Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS. The external meteorological variables were obtained from the automatic weather station of the 8th DISME. The  $T_{in}$  decrease was more intense when the frontal window to the wind was opened first. The most significant external variables in explaining  $T_{in}$  variation was the air temperature, followed in significance by solar radiation ( $R_g$ ). Only when the window downstream the wind of the longitudinal greenhouse axis was open,  $R_g$  was the most significant. The wind speed and direction, were also significant. The direction was more significant than the wind speed

when only the frontal window to the wind was open, and the two sides were closed. In the other conditions studied, the wind speed was more significant.

**KEYWORDS:** protected environment, ventilation, temperature management

**INTRODUÇÃO:** O cultivo em estufas plásticas é uma importante técnica, utilizada principalmente em pequenas propriedades, a qual teve maior impulso na década de 1970 (PIVETTA, 2007). Este sistema de cultivo melhora a qualidade e evita a variação sazonal de produtos agrícolas passíveis de serem cultivados nestes ambientes (GALVANI et al., 2001). Uma das principais funções dos ambientes protegidos na região sul é a diminuição dos danos causados por temperaturas baixas, possibilitando a produção no período de entressafra (GALVANI et al., 2001; SCHNEIDER et al., 1993). A cobertura plástica forma uma barreira física em seu ambiente, afetando significativamente as variáveis meteorológicas do seu interior (PIVETTA, 2007). Diversos trabalhos obtiveram parâmetros para o aperfeiçoamento do manejo de estufas e evidenciaram o efeito das aberturas laterais para ventilação natural sobre o microambiente formado pelo plástico (HELDWEIN et al., 2001; RIGHI et al., 2002), não encontrando correlações firmes entre as variáveis meteorológicas do microambiente protegido com o manejo das aberturas. Em estufas plásticas, as trocas convectivas de calor e massa entre o ambiente interno e externo ocorrem através das aberturas para ventilação (BURIOL et al., 1997). O objetivo deste trabalho foi encontrar relações entre a temperatura do ar no interior de dois ambientes sob diferentes manejos das janelas laterais, com as variáveis externas, temperatura, velocidade e direção do vento e radiação solar global.

**MATERIAIS E MÉTODOS:** O experimento foi desenvolvido no período de 06 de outubro a 22 de dezembro de 2010 em uma estufa plástica dividida em dois ambientes AN (norte) e AS (sul), com o eixo longitudinal orientado no sentido Norte-Sul, localizada no Campo Experimental do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM (29°42'S, 53°42'W e 95 m). Cada ambiente possui uma área de 120 m<sup>2</sup> (10 m x 12 m), com 3 m de altura na cumeeira e 2 m de pé-direito, com estrutura de madeira e cobertura de filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) transparente de 150µm de espessura. No interior da estufa foi implantada a cultura do feijoeiro de vagem variedade Vicenza amarelo baixo, com espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,2 m entre plantas. A ventilação natural foi manejada através das janelas laterais, com área de 12,0 m x 1,0 m (12 m<sup>2</sup>), localizadas na parte mais alta do pé-direito ao longo de cada ambiente. Quando a temperatura do ar no interior do ambiente a 1,5 m de altura ( $T_{in, 1,5m}$ ) atingiu em torno de 25-28°C, abriu-se primeiro o lado voltado contra o vento em AN e, quando  $T_{in, 1,5m}$  atingiu novamente 25-28°C, o outro lado foi aberto. No ambiente Sul (AS) as janelas foram manejadas de modo inverso, abrindo-se primeiro o lado a sotavento da estufa em relação a direção do vento. À tarde, quando  $T_{in, 1,5m}$  atingiu valores inferiores a 25-28°C, foi fechado o lado a sotavento ao eixo da estufa na direção do vento em AN e frontal ao vento em AS. O outro lado foi fechado quando  $T_{in, 1,5m}$  novamente atingiu 25-28°C. A temperatura foi medida em psicrômetros com ventilação natural, com sensores PT100, localizados aproximadamente no centro de cada ambiente e situados a 0,5 m e 1,5 m de altura. Em AN mediu-se também o saldo de radiação a 2 m de altura. As variáveis meteorológicas externas à estufa foram obtidas da estação meteorológica automática do 8° DISME, localizada a cerca de 70 m das estufas. A velocidade do vento é medida a 10 m do solo ( $u_{10}$ ) e foi convertida para o nível de 2 m ( $u_2$ ) utilizando-se a relação  $u_2 = 0,72u_{10}$ . Foram realizadas análises de regressão múltipla pelo procedimento Stepwise, utilizando o software Statistical Analytical System (SAS) entre a temperatura do ar

no interior da estufa e as variáveis externas radiação solar global ( $R_g$ ), temperatura do ar ( $T$ ), velocidade do vento a 2 m de altura ( $u$ ) e a direção do vento. Também foram realizadas análises de regressão com o saldo de radiação medido no interior da estufa. Os dados foram separados conforme o manejo das cortinas laterais: janelas fechadas, janelas abertas e janela com um lado aberto, os quais estão identificados pelos índices 1, 2 e 3, respectivamente. Quando as janelas estavam totalmente abertas ou totalmente fechadas, os azimutes do vento foram convertidos em rumos, variando entre  $0^\circ$  quando o vento foi paralelo ao eixo da estufa e  $90^\circ$  quando perpendicular ao eixo da estufa. Estando apenas uma janela aberta, considerou-se o azimute do vento para melhor explicitar a direção do vento em relação ao lado aberto ou fechado. Foram selecionados apenas modelos em que os coeficientes das variáveis independentes foram significativas ao nível de 5% pelo teste F.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na abertura matinal do primeiro lado da estufa observou-se diminuição mais intensa da temperatura em AN do que em AS, conforme indicado na Figura 1a, pois a janela frontal ao vento aberta permitiu maior circulação de ar. No final do dia, a diminuição da radiação solar não possibilitou essa avaliação claramente ao se fechar as janelas. Observou-se também que em dias com vento moderado a forte,  $T_{in}$  a 0,5m ( $T_{in\ 0,5m}$ ) é maior em ambos os ambientes (dados não mostrados), consequência da proteção da saída da estufa que cria uma barreira que diminui a circulação de ar a 0,5m em relação a 1,5m de altura. Um resultado inesperado foi a grande diferença entre as temperaturas dos dois ambientes estudados quando os dois lados estavam abertos. Quando o vento tinha direção do quadrante leste,  $T_{in\ 1,5m}$  foi maior em AN, provavelmente devido ao pequeno deslocamento do posicionamento dos psicrômetros em relação ao centro de cada ambiente em sentidos opostos, fazendo com que aqueles em AS ficassem mais expostos ao efeito de canalização do vento rente à parede divisória da estufa. Na Figura 1b observa-se que quando os dois lados da estufa foram abertos,  $T_{in\ 1,5m}$  em AN foi significativamente maior quando o vento teve direção sudeste (entre 9 h e 12 h), e a tarde, com vento oeste (perpendicular ao eixo da estufa), os valores se equivaleram nos dois ambientes. Outra possibilidade seria algum efeito redutor da velocidade do vento decorrente da existência de obstáculos à cerca de 30m da estufa em AN. A variável  $T$  foi a mais significativa em praticamente todas as situações para explicar a variação de  $T_{in}$ , exceto apenas em AS3 (janela a sotavento do eixo da estufa aberta), em que a menor ventilação fez  $R_g$  mais significativa. A importância de  $T$  se deve às trocas convectivas devido à ventilação renovar o ar no interior da estufa quando a ventilação é eficiente. À noite, embora a estufa estivesse fechada, houve boa correlação com  $T$  devido ao plástico não ser opaco às perdas radiativas, por existirem vazamentos de ar e pelo plástico permitir trocas por contato com o ar externo mais frio, sendo ambas dependentes das condições de cobertura pelas nuvens. A segunda variável mais significativa foi  $R_g$ . Ela foi significativa mesmo quando se manteve a estufa fechada, o que ocorre principalmente à noite. Porém, no início da manhã e final da tarde, as aberturas encontram-se fechadas, permitindo rápida elevação de  $T_{in}$  com a incidência de radiação solar. A substituição de  $R_g$  pelo saldo de radiação obtido no interior da estufa resultou em significativa redução do ajuste dos dados, provavelmente pelo efeito da estrutura da estufa sobre as medidas, pois o saldo-radiômetro ficou encoberto cerca de duas horas pela viga da cumeeira da estufa em torno das 12 h. Com relação às variáveis relacionadas ao vento, em AS2, AS3 e AN2, a velocidade do vento foi mais significativa. Nos demais manejos a direção do vento teve maior significância. A direção do vento perpendicular ao eixo longitudinal da estufa implica em condição de fluxo direto através das janelas, mas o paralelismo ao eixo longitudinal da estufa determinou menor penetração do vento nos ambientes. Isso implicou em maior renovação do ar no primeiro caso nos manejos AN2, AS2 e AN3. Quando o lado da estufa aberto foi a sotavento do eixo longitudinal na direção do vento (AS3), a direção teve pouca importância, pois o vento encontrou o lado frontal a ele

fechado. Porém, a maior velocidade resultou em maior turbulência no lado oposto aberto, aumentando a renovação do ar. A ventilação foi também otimizada pela velocidade quando os dois lados da estufa foram mantidos abertos (AN2 e AS2). A maior significância da direção do vento enquanto a estufa permaneceu fechada é difícil de ser explicada (AN1 e AS1). Uma possibilidade está na temperatura do ar sob vento dos quadrantes oeste e sul ser menor e ter havido pouca frequência de ventos do quadrante norte, os quais são quentes, durante o período experimental. A maior significância da velocidade do vento em relação à direção ocorreu quando AS e AN estavam com os dois lados abertos. Esses resultados demonstram que o manejo das cortinas laterais da estufa com relação à direção do vento pode trazer diferenças significativas na temperatura interna desses ambientes, possibilitando incrementar a qualidade do manejo na busca de melhores condições para o desenvolvimento das culturas, como a abertura do lado a sotavento do eixo da estufa na direção do vento em dias frios e do lado frontal ao vento em dias quentes. Destaca-se também que essas variáveis podem ser consideradas na modelagem da temperatura do ar interno desses ambientes.

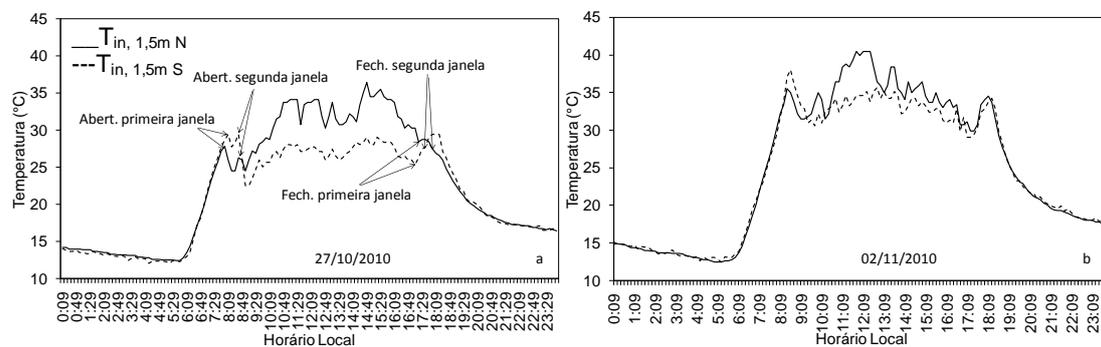


Figura 1: Variação das temperaturas do ar medidas no interior da estufa a 1,5 m de altura, no ambiente norte ( $T_{in, 1,5m N}$ ) e no ambiente sul ( $T_{in, 1,5m S}$ ) nos dias 27/10/2010 (a) e 02/11/2010 (b). Santa Maria, 2010.

**CONCLUSÕES:** A abertura da janela frontal ao vento determina um decréscimo mais intenso da temperatura do ar no interior da estufa. A temperatura do ar no exterior da estufa é a variável mais significativa a explicar a variação da temperatura no interior da estufa, exceto apenas quando com o lado aberto a sotavento do eixo da estufa na direção do vento, em que a radiação solar global apresenta maior significância. Dentre as componentes do vento, a direção foi a mais significativa quando apenas a janela frontal ao vento está aberta. Quando os dois lados ou apenas o lado a sotavento do eixo da estufa na direção do vento estão abertos, a velocidade do vento é mais significativa.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BURIOL, G.A. et al. Efeito da ventilação sobre a temperatura e umidade do ar em tuneis baixos de polietileno transparente e o crescimento da alface, **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.17-24, 1997.
- GALVANI, E. et al. Avaliação de temperatura do ar e do solo e umidade relativa do ar em ambiente protegido e a campo cultivado com cultura de pepino (*cucumis sativus* l.), **III Congresso Brasileiro de Biometeorologia**, 2001.
- HELDWEIN, A.B. et al. Evaporação d'água em estufas plásticas e sua relação com o ambiente externo: 1 – efeito da espécie cultivada e da época do ano nos valores obtidos com minitanques, **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.1, p.43-49, 2001

PIVETTA, C.R. Evapotranspiração máxima do tomate e do pimentão em estufa plástica em função da evaporação no “piche” e outras variáveis meteorológicas e fenométricas. 2007. 80p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

RIGHI, E.Z. et al. Transpiração do tomateiro cultivado em estufa plástica e suas relações com a radiação solar e déficit de saturação do ar, **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p.9-18, 2002.

SCHNEIDER, F.M. et al. Modificação na temperatura do solo causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.37-42. 1993.

Tabela 1: Equações de regressão entre a temperatura do ar no interior da estufa a 1,5 m ( $T_{in, 1,5m}$ ) e a 0,5 m ( $T_{in, 0,5m}$ ) de altura, com as variáveis radiação solar global ( $R_g$ ,  $\text{kJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ), temperatura do ar ( $T$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ), velocidade do vento ( $u$ ,  $\text{m s}^{-1}$ ) e a direção do vento convertida em seno do rumo (Dir90) ou seno do azimute (Dir360), medidos no exterior da estufa. Dir360 foi usado quando com apenas um lado da estufa aberto.

Equação	$R^2$	Erro
AN1		
$T_{in, 1,5m} = 5,12213 + 0,77215T$	0,68	4,38
$T_{in, 1,5m} = 5,918687 + 0,73551T - 0,11993u + 0,01047R_g - 0,65909\text{Dir}90$	0,87	1,79
$T_{in, 0,5m} = 5,25399 + 0,76431T$	0,66	4,68
$T_{in, 0,5m} = 6,12584 + 0,72872T - 0,15579u + 0,01083R_g - 0,71584\text{Dir}90$	0,86	1,90
AN2		
$T_{in, 1,5m} = 10,70921 + 0,84846T$	0,50	11,34
$T_{in, 1,5m} = 9,67464 + 0,77150T - 0,63772u + 0,00304R_g - 2,82188\text{Dir}90$	0,85	3,44
$T_{in, 0,5m} = 8,19596 + 0,99478T$	0,51	14,98
$T_{in, 0,5m} = 5,36110 + 0,90492T - 0,41009u + 0,00351R_g - 2,39006\text{Dir}90$	0,86	4,16
AN3		
$T_{in, 1,5m} = 18,49310 + 0,38393T$	0,24	5,70
$T_{in, 1,5m} = 15,34341 + 0,47258T - 0,54962u + 0,00302R_g - 0,83097\text{Dir}360$	0,65	2,72
$T_{in, 0,5m} = 17,95629 + 0,41403T$	0,23	6,83
$T_{in, 0,5m} = 13,16250 + 0,51886T + 0,00287R_g - 0,72724\text{Dir}360$	0,56	4,01
AS1		
$T_{in, 1,5m} = 5,29686 + 0,76059T$	0,68	4,36
$T_{in, 1,5m} = 6,14523 + 0,71815T - 0,12225u + 0,01029R_g - 0,58757\text{Dir}90$	0,87	1,83
$T_{in, 0,5m} = 6,01494 + 0,73787T$	0,69	3,96
$T_{in, 0,5m} = 6,92163 + 0,70022T - 0,13597u + 0,00942R_g - 0,66923\text{Dir}90$	0,86	1,84
AS2		
$T_{in, 1,5m} = 8,08381 + 0,84782T$	0,64	6,62
$T_{in, 1,5m} = 10,45777 + 0,78094T - 1,17994u + 0,00204R_g - 2,41955\text{Dir}90$	0,86	2,58
$T_{in, 0,5m} = 6,71285 + 0,91787T$	0,62	8,42
$T_{in, 0,5m} = 7,31496 + 0,84093T - 0,97805u + 0,00238R_g - 1,59788\text{Dir}90$	0,84	3,68
AS3		
$T_{in, 1,5m} = 23,00890 + 0,00281R_g$	0,28	4,85
$T_{in, 1,5m} = 18,34537 + 0,28632T - 0,69534u + 0,00363R_g$	0,49	3,53
$T_{in, 0,5m} = 22,49851 + 0,00249R_g$	0,26	4,13
$T_{in, 0,5m} = 17,20898 + 0,30426T - 0,53815u + 0,00318R_g$	0,51	2,85

AN1 = Ambiente norte fechado; AN2 = Ambiente norte aberto; AN3 = Ambiente norte com um lado aberto (frontal ao vento); AS1 = Ambiente sul fechado; AS2 = Ambiente sul aberto; AS3 = Ambiente sul com um lado aberto (a sotavento do eixo longitudinal da estufa no sentido do vento)