

Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 43-49, 1993.

Aprovado para publicação em 06/01/93.

**MODIFICAÇÃO NA TEMPERATURA MÍNIMA DO AR CAUSADA POR ESTUFAS
DE POLIETILENO TRANSPARENTE DE BAIXA DENSIDADE¹**

**MINIMUM TEMPERATURE MODIFICATION CAUSED BY GREENHOUSES MADE
OF LOWDENSITY TRANSPARENT POLYETHYLENE**

Galileo Adeli Buriol², Flavio Miguel Schneider², Valduino Estefanel², Jerônimo Luiz Andriolo³
e Sandro Luis Petter Medeiros.

RESUMO

Determinou-se a temperatura mínima do ar no interior de estufas de polietileno transparente aditivado de baixa densidade instaladas no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria e no município de São Pedro do Sul, e no ambiente externo. A temperatura mínima do ar foi medida diariamente a 5 e 150 cm da superfície do solo, com termômetros convencionais de mínima com precisão de 0,2°C. Os resultados evidenciaram que o "efeito estufa" nas estufas sobre as temperaturas mínimas do ar é maior nos dias mais frios e que, dependendo das condições meteorológicas, a temperatura mínima do ar no interior da estufa pode ser menor do que aquela no ambiente externo. Também se observou que o manejo da estufa, com relação à ventilação, influi no efeito estufa sobre as temperaturas mínimas do ar.

Palavras-chave: Estufa plástica, temperatura mínima do ar, efeito estufa.

¹ Trabalho parcialmente financiado pela FAPERGS.

² Professor titular, Bolsista do CNPq - Departamento de Fitotecnia /CCR/UFSM - 97119 - 900 - Santa Maria, RS.

³ Professor Assistente – Departamento de Fitotecnia/CCR/UFSM – 97119 – 900- Santa Maria, RS.

SUMMARY

Minimum temperatures were determined both inside and outside aditivated low density polyethylene plastic greenhouses located at the Federal University of Santa Maria and at São Pedro do Sul county. The minimum temperature was measured daily at 5 and 150 cm above the soil surface using minimum thermometers with a precision of a 0.2°C. The results indicated that effect of the greenhouse on the minimum temperature is greater on cold days and depending on meteorological conditions the minimum temperature can be lower inside the greenhouse than outside. It was also observed that management of the greenhouse, in regard to ventilation, influences the greenhouse effect on minimum temperatures.

Key words: Plastic greenhouse, minimum temperature, greenhouse effect.

INTRODUÇÃO

Na região de Santa Maria, RS, durante o período invernal ocorrem temperaturas mínimas prejudiciais ao crescimento e desenvolvimento de um grande número de espécies olerícolas (BURIOL, 1976). Uma técnica de uso crescente no Rio Grande do Sul, na proteção às baixas temperaturas e na criação de condições de cultivo em épocas não recomendadas, tem sido a utilização de estufas com cobertura e laterais de plástico transparente como o polietileno de baixa densidade (PEBD), único material atualmente disponível no Brasil.

O PEED apresenta uma alta transparência à radiação solar global incidente (de 70 a 90%) e transparência semelhante para a radiação de onda longa (TAPIA, 1981), determinando que as temperaturas noturnas e mínimas do interior da estufa não sejam muito diferentes às do ambiente externo. Resultados experimentais mostram que as temperaturas mínimas do ar são, em média, no interior da estufa 1,0 a 3,0°C superiores ao ambiente externo (VILLELE, 1983). Esta diferença depende principalmente das propriedades óticas do plástico, volume de ar armazenado (tamanho da estufa), vedação das paredes e condições meteorológicas do ambiente externo como velocidade do vento, umidade do ar e balanço global de radiação. Entretanto, ocorrem dias em que a temperatura mínima do ar no interior da estufa é inferior, originando o fenômeno da

inversão térmica (BAILLE & BRUN, 1983; HERTER & REISSER JUNIOR, 1987; ANDRIOLO et al, 1989).

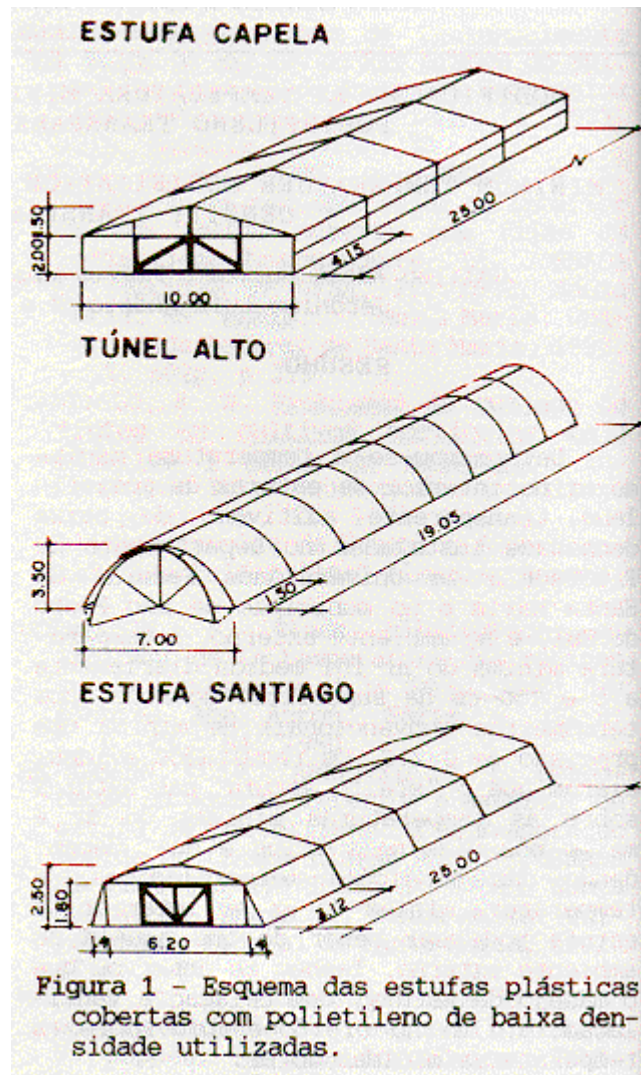
Considerando que informações referentes às modificações causadas por estufas plásticas, em condições brasileiras, ainda são escassas, este trabalho objetiva detectar as alterações na temperatura mínima do ar causadas por estufas cobertas com polietileno transparente de baixa densidade na região de Santa Maria, RS.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em estufas cobertas com polietileno transparente aditivado de baixa densidade, com espessura de 100 μ , sendo as do tipo capela e túnel alto orientadas no sentido E-W e instaladas no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (latitude: 29°43' S, longitude: 53°42' W e altitude: 95 m) e a do tipo Santiago orientada no sentido N-S e instalada no município de São Pedro do Sul, distando aproximadamente 500 m da zona urbana (latitude: 29°27' S, longitude: 53°11' W e altitude: 150 m). Utilizou-se uma estufa tipo túnel alto, comercialmente denominada "Túnel Butui" de forma semi-circular, com 19,5 m de comprimento, 7,0 m de largura ao nível do solo, altura máxima de 3,5 m e relação entre o volume de ar e superfície coberta de 2,75 m³/m² (Figura 1), uma estufa tipo capela com 25,0 m de comprimento, 10,0m de largura, 3,5 m de altura na cumieira e 2,0 m de altura na lateral e relação entre volume de ar e superfície coberta de 2,75 m³/m² e duas estufas tipo Santiago com 25,0 m de comprimento, 7, 0 m de largura e 2, 5 m de altura na cumieira (Figura 1). Nas estufas tipo túnel alto e capela e numa área ao lado utilizada para caracterizar o ambiente externo, cultivou-se alface. A estufa tipo Santiago foi cultivada com tomateiro.

A ventilação na estufa túnel alto foi realizada através das duas extremidades, somente nos dias e horas mais quentes (quando a temperatura do ar fora da estufa esteve acima de 20°C) das 10 às 16 h aproximadamente, durante o período de observação de 21/06 a 06/10/88. Na estufa tipo capela realizaram-se observações em três períodos distintos, sendo a ventilação: a) no período de 11/07 a 15/10/89 realizada somente através da abertura das extremidades nos dias e horas mais quentes e denominada de Capela 1, b) nos períodos de 18/04 a 30/09/90 e de 18/02 a 27/03/90 realizada através do abaixamento da metade superior dos filmes laterais que ficaram, respectivamente, abertas nas horas mais quentes (capela 3) e permanentemente (capela 2). Nas

estufas tipo Santiago, a ventilação normalmente foi realizada através da abertura das extremidades, e nos dias mais quentes com a colaboração adicional proporcionada pelo afastamento, nas paredes laterais, das partes sobrepostas do filme de polietileno entre duas faixas consecutivas, durante as observações realizadas no período de 23/05 a 31/08/90.



A temperatura mínima do ar foi medida no interior das estufas e no ambiente externo, com termômetros convencionais de mínima com resolução de 0,2°C. Para medir a 150 cm da superfície do solo, o termômetro foi instalado no interior de um abrigo meteorológico localizado na parte central da estufa e a 5 cm da superfície do solo, instalou-se ao lado do abrigo

meteorológico, um termômetro que era colocado às 21 h e recolhido às 9 h, logo após a leitura. No ambiente externo também instalaram-se termômetros em condições similares aos do interior da estufa a aproximadamente 200 m ao sul da estufa no ano de 1988 e a 20 m a leste nos anos de 1989 e 1990.

Para cada tipo de estufa e período de observação da temperatura, foram calculadas a média aritmética das mínimas no interior da estufa e no ambiente externo e as diferenças entre estes valores. Na comparação entre valores médias utilizou-se o teste de Duncan ($p=0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 1 - Valores médios da temperatura mínima diária do ar, medida a 150 cm da superfície do solo no interior da estufa (T_{es150}) e no ambiente externo (T_{ex150}) e a diferença (Δ_{150}) entre os valores médios.

Estufa	T_{es150}	T_{ex150}	Δ_{150}
Túnel alto	11,5 a*	10,3 b	1,2
Capela 1	11,8 a	11,0 a	0,8
Capela 2	19,2 a	19,1 a	0,1
Capela 3	11,6 a	9,3 b	2,3
Santiago 1	9,0 a	7,2 b	1,8
Santiago 2	8,5 a	7,2 b	1,3

* As médias assinaladas com a mesma letra na horizontal não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p=0,05$).

Os resultados da Tabela 1 evidenciam que, em média, os valores da temperatura mínima diária do ar medida a 150 cm da superfície do solo sempre foram mais elevados no interior das estufas independente do tipo de estufa e ventilação empregada, apesar de não haver diferença significativa nas medidas obtidas com as estufas Capela 1 (extremidades abertas nas horas mais quentes) e Capela 2 (metade superior dos filmes laterais permanentemente abertas). Quando houve controle na ventilação, as diferenças médias (Δ_{150}) entre as temperaturas mínimas dos dois

ambientes oscilaram entre 0,8°C e 2,3°C, valores similares aos encontrados por VILLELE (1983). Este comportamento evidencia que a vedação das estruturas é um dos principais fatores responsáveis pela redução das perdas energéticas do interior da estufa para o ambiente externo (ROBLEDO & MARTINS, 1981), visto que, quando a ventilação foi por menor tempo, as diferenças foram maiores.

Tabela 2 - Temperatura mínima do ar a 150 cm da superfície do solo, no interior (t_{es150}) e exterior (t_{ex150}) nos dias com maiores diferenças (D_{150}), negativas e positivas e quando ocorreram os valores mais baixos de t_{ex150} .

Tipo de Estufa	Dias com maiores D_{150} negativas			Dias com maiores D_{150} positivas			Dias mais frios		
	t_{es150}	t_{ex150}	D_{150}	t_{es150}	t_{ex150}	D_{150}	t_{es150}	t_{ex150}	D_{150}
Túnel alto	14,9	17,0	-2,1	22,8	17,8	5,0	2,0	-0,2	2,2
	18,2	20,0	-2,1	10,4	5,4	5,0	1,8	-0,1	1,9
	16,0	17,8	-1,8	11,9	7,3	4,6	4,8	2,0	2,8
	10,1	11,8	-1,5	18,0	13,8	4,2	3,0	0,6	2,4
Capela 1	11,3	13,0	-1,7	15,5	13,0	2,5	5,0	2,8	2,2
	5,0	6,2	-1,7	12,0	9,6	2,4	7,9	6,3	1,6
	8,2	9,3	-1,1	15,8	13,5	2,3	7,0	5,7	1,3
	12,0	12,9	-0,9	5,0	2,8	2,2	5,0	6,2	-1,2
Capela 2	20,6	22,1	-1,5	22,0	20,2	1,8	12,8	12,0	0,8
	19,4	20,8	-1,4	24,2	23,1	1,1	16,6	16,7	-0,1
	19,2	19,6	-0,4	17,4	16,6	0,8	17,0	16,2	0,8
	22,2	22,5	-0,3	12,8	12,0	0,8	17,4	16,6	0,8
Capela 3	11,0	13,6	-2,6	15,4	9,0	6,4	3,4	-0,8	4,2
	16,0	16,9	-0,9	12,4	7,0	5,4	2,6	-0,4	3,0
	15,8	16,6	-0,8	11,0	6,0	5,0	2,8	-0,4	3,2
	7,5	8,2	-0,7	6,4	1,5	4,9	4,0	0,2	3,8
Santiago 1	2,6	4,2	-1,6	1,8	-2,4	4,8	0,8	-3,0	3,8
	12,2	13,4	-1,2	11,6	7,8	3,8	1,8	-2,4	4,2
	12,2	13,2	-1,0	1,0	-2,8	3,8	1,0	-2,8	3,8
	14,2	15,2	-1,0	0,8	-3,0	3,8	1,0	-2,4	3,4
Santiago 2	3,0	4,2	-1,2	9,4	3,8	5,6	-1,6	-3,0	1,4
	14,4	15,2	-1,2	13,2	7,8	5,4	-0,6	-2,8	2,2
	12,6	13,4	-0,8	1,8	2,4	4,6	1,8	-2,4	4,2
	13,0	13,2	-0,2	3,4	0,4	3,8	0,0	-2,4	2,4

Os dados da Tabela 2 mostram que apesar da diferença média entre o interior da estufa e o ambiente externo ser positiva, ocorrem muitos dias que a diferença (D_{150}) é negativa, ou seja, a temperatura mínima do ar do ambiente externo é maior do que a do interior da estufa, fenômeno denominado de "inversão térmica". Esta situação se verifica em dias com ventos fortes que renovam constantemente a camada de ar junto a superfície do ambiente externo evitando que

a temperatura mínima do ar seja muito baixa. Já no interior da estufa, como não ocorre uma renovação similar ao ambiente externo, ocorre um progressivo e ininterrupto esfriamento do ar devido às perdas energéticas por radiação e por condução-convecção através do plástico. Devido à ação do vento sobre as paredes externas da estufa também não ocorre a formação de uma camada de vapor d'água condensada na face interna do plástico, o que contribui para que as perdas por radiação do interior da estufa sejam elevadas. Outro aspecto que deve ser ressaltado é que, quando esta situação se verifica, as temperaturas mínimas do ar tanto do interior como do exterior da estufa são relativamente elevadas e não existem condições para ocorrência de geadas radiativas.

Estes resultados divergem da literatura que refere que a "inversão térmica" ocorre em noites limpas, frias e com brisa (ALPI & TOGNONI, 1983; VILLELE, 1983). Provavelmente, nestes locais da Europa, devido à baixa umidade do ar, dificilmente ocorre a formação de uma camada de vapor d'água condensada na face interna do plástico, comum em nossa região, a qual dificulta a perda de energia radiante emitida internamente na estufa. Consequentemente, nestes locais, a perda de energia radiante é acentuada e ininterrupta e como a convecção é mínima, resulta num abaixamento acentuado da temperatura do ar no interior da estufa. Em contrapartida, como no ambiente externo existe maior movimento do ar, ocorre uma lenta renovação do ar que se esfria, impedindo que a temperatura mínima no ambiente externo seja similar à do interior da estufa.

Verificou-se que os maiores valores positivos de D_{150} geralmente ocorreram em dias calmos e com ausência de nebulosidade e alcançaram valores de até 6,4°C. Aspecto altamente significativo foi a constatação que, nos dias frios (Tabela 2), os valores de D_{150} sempre foram positivos. Nessa situação, os dias são de vento calmo e céu límpido, ocorre uma acentuada perda radiativa, tanto no interior como no exterior da estufa, e, em decorrência, a partir de um determinado momento da noite forma-se uma camada de água condensada na superfície interna do plástico. Esta camada reduz a permeabilidade do plástico à onda longa, de modo que ocorre uma atenuação no esfriamento do ar no interior da estufa, resultando em temperaturas mínimas do ar que geralmente permanecem superiores às daquelas do ambiente externo. Portanto, a formação desta camada de vapor d'água condensada contribui para o aumento do efeito estufa do plástico sobre as temperaturas mínimas do ar. Considerando que a temperatura mínima absoluta do ar registrada no abrigo meteorológico em Santa Maria desde 1912 foi -2,6°C (BURIOL, 1976),

deduz-se que é pouco provável que ocorra prejuízo aos cultivos por congelamento dos tecidos vegetais no interior de estufas cobertas com polietileno transparente de baixa densidade. Os dados, entretanto, mostram que, para cultivos olerícolas como o tomateiro, durante o inverno deve-se buscar alternativas para melhorar o efeito estufa do plástico sobre as temperaturas noturnas e mínimas, visto que esta cultura requer temperaturas superiores a 12°C (CORNILLON, 1980).

Os resultados da Tabela 3 mostram que, em média, os valores da temperatura mínima diária do ar, medida a 5 cm da superfície do solo, sempre foram significativamente mais elevados no interior das estufas, independente do tipo de estufa e ventilação. A diferença média entre os dois ambientes (Δ_5) oscilou de 1,6 a 3,1°C e comparativamente foi mais elevada que a diferença das temperaturas mínimas do ar medidas a 150 cm da superfície do solo nos dois ambientes. Tem-se, portanto, que o gradiente vertical médio das temperaturas mínimas do ar no interior da estufa é menor do que no ambiente externo, provavelmente em razão do pequeno volume de ar e ambiente fechado à noite o que possibilita que a temperatura tenda a ser mais uniforme, na estufa. Os dados da Tabela 4 confirmam esta constatação e que, comparativamente, o gradiente vertical da temperatura mínima do ar é bem menor no interior da estufa nos dias mais frios. Também deduz-se que o fenômeno da inversão térmica, característica de geadas radiativas, é menos intenso no interior das estufas.

Tabela 3 - Valores médios da temperatura mínima diária do ar, medida a 5 cm da superfície do solo no interior da estufa (T_{est5}) e no ambiente externo (T_{ext5}) e a diferença (Δ_5) entre os valores médios.

Estufa	T_{est5}	T_{ext5}	Δ_5
Capela 1	11,9 a	8,8 b	3,1
Capela 3	10,0 a	6,9 b	3,1
Santiago 1	9,1 a	6,3 b	2,8
Santiago 2	7,9 a	6,3 b	1,6

* As médias assinaladas com a mesma letra na horizontal não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p=0,05$).

Tabela 4 - Valores de temperatura mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$) a 150 cm acima da superfície do solo no interior (t_{es150}) e exterior (t_{ex150}) da estufa e a 5 cm no interior (t_{es5}) e exterior (t_{ex5}) da estufa capela de alguns dias de julho de 1990 quando T_{es5} foi menor que 5°C .

Dia	t_{es5}	t_{ex5}	t_{es150}	t_{ex150}
19	4,2	1,0	8,0	6,4
20	4,4	1,0	7,2	6,2
22	0,9	-2,8	1,4	2,8
23	-0,4	-4,6	2,6	1,6
27	1,9	-1,6	4,0	3,6
28	-0,4	-4,2	2,8	0,3
29	1,0	-0,4	6,2	1,0

Obs. A ventilação desta estufa foi feita através do abaixamento da metade superior do filme lateral nos dias e nas horas mais quentes.

Similarmente ao ocorrido com a temperatura mínima do ar, medida a 150 cm da superfície do solo, também ocorreram dias com vento forte em que a diferença de temperatura mínima do ar a 5 cm da superfície do solo entre os dois ambientes (D_5) foi negativa (Tabela 5). O número de dias, entretanto, foi comparativamente menor ao ocorrido com os valores medidos a 150 cm da superfície do solo, sendo que na estufa Capela 1 não ocorreu esta situação e na Santiago 1 ocorreu apenas um dia com D_5 negativo. Na Tabela 5 também constata-se que os maiores valores positivos, de D_5 ocorreram nos dias mais frios, geralmente com céu límpido e sem vento ou com brisa. Nestas condições favoráveis à ocorrência de geadas radiativa no ambiente externo, constatou-se um efeito estufa da estufa plástica bem maior sobre as temperaturas mínimas do ar medida a 5 cm da superfície do solo, com valores de D_5 , nos dias mais frios, na maioria das situações superiores a 4°C , exceto com a estufa Santiago 2. Esta estufa, instalada em propriedade de um produtor do município de São Pedro do Sul, apresentava alguma perfurações e a vedação nas laterais era deficiente, o que aumentava a perda energética.

Tabela 5 - Temperatura mínima do ar a 5 cm da superfície do solo, no interior (t_{es5}) e exterior (t_{ex5}) nos dias com maiores diferenças (D_5), negativas e positivas e quando ocorreram os valores mais baixos de t_{ex5} .

Tipo de Estufa	Dias com maiores D_5 negativas			Dias com maiores D_5 positivas			Dias mais frios		
	t_{es5}	t_{ex5}	D_5	t_{es5}	t_{ex5}	D_5	t_{es5}	t_{ex5}	D_5
Capela 1	--	--	--	4,8	-1,4	6,2	4,8	-1,4	6,2
	--	--	--	7,8	1,8	6,0	6,2	0,8	5,4
	--	--	--	7,2	1,4	5,8	7,2	1,4	5,8
	--	--	--	8,0	2,4	5,6	6,8	1,6	5,2
	--	--	--	7,0	1,6	5,4	7,0	1,6	5,4
Capela 3	4,0	6,4	-2,4	3,2	-3,8	7,0	1,6	-4,6	6,2
	7,0	8,8	-1,8	5,0	-1,8	6,8	2,1	-4,6	6,7
	6,8	8,4	-1,6	2,1	-4,6	6,7	0,3	-4,2	4,5
	11,0	12,4	-1,4	4,2	2,2	6,4	3,2	-3,8	7,0
	11,1	12,4	-1,3	1,6	-4,6	6,2	2,8	-2,8	5,6
Santiago 1	13,8	15,2	-1,4	1,8	-4,2	6,0	1,8	-4,2	6,0
	--	--	--	2,8	-2,6	5,4	2,0	-3,0	5,0
	--	--	--	3,0	-2,2	5,2	1,8	-3,0	4,8
	--	--	--	4,2	-1,0	5,2	2,8	-2,6	5,4
	--	--	--	2,0	-3,0	5,0	3,0	-2,2	5,2
Santiago 2	13,8	14,2	-1,4	8,6	2,6	6,0	-2,4	-4,2	1,8
	14,4	15,4	-1,0	2,8	-1,2	4,0	-1,4	-3,0	1,6
	14,5	14,8	-0,3	1,8	-2,2	4,0	-1,4	-3,0	1,6
	12,2	13,6	-1,4	5,6	1,8	3,8	0,0	-2,6	2,6
	12,4	14,2	-1,8	10,6	7,2	3,4	1,8	-2,2	4,0

Como as avaliações foram feitas em locais e/ou anos diferentes, a comparação dos diferentes tipos de estufa e ventilação estudadas fica prejudicada, sendo que, por isso, não foi realizada.

CONCLUSÕES

1 - O efeito estufa das estufas cobertas com polietileno transparente de baixa densidade sobre a temperatura mínima do ar é maior nos dias mais frios.

2 - Dependendo das condições meteorológicas da atmosfera, a temperatura mínima do ar no interior da estufa pode ser menor que do ambiente externo.

3 - O gradiente vertical médio da temperatura mínima do ar é menor no interior da estufa do que no ambiente externo.

4 - O manejo da ventilação da estufa influi no efeito estufa sobre a temperatura mínima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALPI, A., TOGNONI, F.** Culturas em estufas. Lisboa: Editorial Presença, 1978. 196p.
- ANDRIOLO, J. L., BURIOL, G. A., ESTEFANEL, V.** et al. Determinação das variações de temperatura do ar e do solo e da umidade relativa do ar no ambiente interno e externo de uma estufa de polietileno em Santa Maria, RS. In: ENCONTRO DE PLASTICULTURA DA REGIÃO SUL, III, 1989, Curitiba, PR, Resumos ..., Curitiba: Emater-PR, 1989. p. 6.
- BAILLE, A, BRUN, R.** Le bilan énergétique de la serre. 2 - Les moyens de limiter les deperditions thermiques. In: L'INRA et les cultures sous serre. Paris: Institut Nacional de la Recherche Agronomique, 1983. p. 55-65.
- BURIOL, G.A.** Intensidade das temperaturas mínimas e datas de ocorrência de níveis térmicos prejudiciais aos cultivos. Revista do Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 27 - 42, 1976.
- CORNILLON, P.** Étude bibliographique: incident de la temperature des racines sur la croissance et le development des plantes. Ann. Agron., Paris, v. 31, n. 1, p. 63-84, 1980.
- HERTER, F.G., REISSER JUNIOR, C.** Balanço térmico em estufas plásticas em Pelotas, RS. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 5, n. 1, p. 60, 1987.
- ROBLEDO, F. de P, MARTINS, L.V.** Aplicacion de los plásticos en la acriculture. Madrid: Prensa, 1981. 553p.
- TAPIA, G.J.** Filmes térmicos para invernaderos. Revista de los Plásticos Modernos, Espanha, v. 295, p. 75-82, 1981.
- VILLELE, O.** Le contexte climatique et cultural de la serre. 1 - La serre, agent de modification du climat. In: L'INRA et les cultures sous serre. Paris: Institut Nacional de la Recherche Agronomique, 1983. p. 21-27.