

ESTIMATIVA DA TEMPERATURA MÍNIMA DE RELVA E DA DIFERENÇA DE TEMPERATURA ENTRE O ABRIGO E A RELVA EM NOITES DE GEADA ⁽¹⁾

PAULO CESAR SENTELHAS ⁽²⁾, ALTINO ALDO ORTOLANI ⁽³⁾
e JOSÉ RICARDO MACEDO PEZZOPANE ⁽⁴⁾

RESUMO

Analisaram-se os dados de temperatura mínima do ar junto à relva (RELVA) e os da diferença entre a temperatura mínima do ar em abrigo meteorológico e a observada junto à relva (DIF) de dez locais paulistas, utilizando dados históricos de noites com geada. Essas informações foram correlacionadas com os seguintes elementos meteorológicos: temperatura mínima do ar obtida em abrigo meteorológico (TMÍN); velocidade média do vento (VENTO); temperatura do ar às 21 h em abrigo meteorológico (T21h); temperatura do ponto de orvalho às 21h (To21h), e nebulosidade (NEB). O valor médio da DIF foi de 4,1°C, variando de 3,3 a 5,7°C. To21h e TMÍN foram os elementos de melhor correlação com a RELVA, enquanto VENTO e To21h mostraram melhor ajuste com a DIF. Obtiveram-se equações de regressão de estimativa da RELVA e da DIF para cada local estudado e outra, de caráter geral, para o Estado. A estimativa da RELVA apresentou os melhores ajustes em relação à da DIF.

Termos de indexação: temperatura mínima de relva e do ar; estimativa; geada.

ABSTRACT

ESTIMATING GRASS MINIMUM TEMPERATURE AND DIFFERENCE BETWEEN SCREEN AND GRASS MINIMUM TEMPERATURE IN NIGHTS WITH FROST

Data of grass minimum temperature (RELVA) and difference between screen and grass minimum temperature (DIF) were analyzed in ten localities of São Paulo State, Brazil, utilizing historical data of nights with frost. These informations were correlated with the following meteorological elements: air minimum temperature obtained in meteorological screen (TMÍN); mean wind speed (VENTO); air temperature

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 27 de março e aceito em 9 de agosto de 1995.

⁽²⁾ Seção de Climatologia Agrícola, Instituto Agronômico (IAC), Caixa Postal 28, 13001-970 Campinas (SP).

⁽³⁾ Seção de Climatologia Agrícola, IAC. Com bolsa de pesquisa do CNPq.

⁽⁴⁾ Seção de Climatologia Agrícola, IAC. Com bolsa de aperfeiçoamento da FAPESP.

at 9:00pm obtained in meteorological screen (T21h); dew point temperature at 9:00pm (To21h); and cloud cover (NEB). The average value of DIF was 4.1°C, ranging from 3.3 to 5.7°C. To21h and TMIN were the elements that presented best correlation with RELVA while VENTO and To21h showed good fit with DIF. Regression equations to estimate RELVA and DIF were obtained for each locality so as a general equation. RELVA estimative was that presented the best fit in relation to DIF.

Index terms: grass minimum temperature; air minimum temperature; estimate; frost.

1. INTRODUÇÃO

A geada é um fenômeno que ocorre com certa frequência no Estado de São Paulo. Segundo Camargo et al. (1993), sua probabilidade anual, em regiões paulistas de importância agrícola, oscila de 13 a 80%.

Os danos provocados pela geada variam de acordo com a espécie vegetal e seu estágio fenológico, podendo-se estimá-los em função da temperatura do ar junto às plantas (Pinto et al., 1976).

A temperatura mínima do ar no abrigo meteorológico é importante no levantamento de geadas, considerando-se 2°C como o limite abaixo do qual se iniciam os prejuízos (Camargo et al., 1993). No entanto, é a temperatura mínima observada sobre a relva, na noite da geada, que dará a noção exata do nível de dano ocorrido (Bootsma, 1976a). Pinto et al. (1978) determinaram, para o Estado de São Paulo, a diferença média entre a temperatura mínima do ar, em abrigo, e aquela junto à relva, na tentativa de correlacionar a do abrigo com danos provocados por geada em café, encontrando o valor médio de 4,2°C.

A diferença entre a temperatura mínima do abrigo e da relva depende de fatores atmosféricos associados aos topográficos e às características da superfície do solo e da cobertura vegetal (Rahn & Brown, 1971; Bootsma, 1976a). Normalmente, as maiores diferenças ocorrem em noites sem nuvens e vento, com intenso resfriamento por radiação (Geiger, 1965).

Bootsma (1976a) correlacionou o efeito de fatores atmosféricos com a diferença entre a temperatura mínima absoluta do ar em abrigo e na relva, verificando que a nebulosidade juntamente com a velocidade do vento são responsáveis por 74% de

sua variação. Com base nessas correlações, obtiveram-se equações de estimativa da diferença entre as temperaturas no abrigo e junto à relva. Essas equações, quando testadas com dados independentes, apresentaram boa exatidão, porém somente para o local onde foram desenvolvidas.

Este trabalho tem como objetivo determinar: a diferença média entre a temperatura mínima do ar obtida em abrigo e junto à relva para dez locais paulistas; a probabilidade da ocorrência de determinada diferença de temperatura entre o abrigo e a relva; a influência das condições meteorológicas sobre a temperatura mínima de relva e sobre a diferença de temperatura entre o abrigo e a relva; as equações de estimativa da temperatura mínima de relva, e a diferença entre as temperaturas obtidas no abrigo e na relva, em noites de geada.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1 Determinação da diferença média entre a temperatura mínima no abrigo e na relva e probabilidade de ocorrência

Analisaram-se dados históricos de temperatura mínima absoluta do ar obtidas em abrigo meteorológico e sobre a relva, nos postos meteorológicos de dez localidades paulistas (Quadro 1), sempre que a temperatura mínima foi igual ou inferior a 2°C, de acordo com Camargo et al. (1993).

Determinou-se, para cada uma das dez localidades analisadas, a diferença média entre a temperatura mínima no abrigo e na relva (DIF), em noites de geada. Mediante esses dados, estabeleceu-se um valor médio de tal diferença.

Essas informações, totalizando 226 pares de dados, foram analisadas probabilisticamente mediante as seguintes funções de distribuição (Thom, 1966):

a) Distribuição normal:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-0,5 \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2}$$

onde:

μ é a média e σ , o desvio-padrão.

b) Distribuição gama:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \cdot x^{\gamma-1} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}}$$

onde:

γ e β são estimados pelo método da máxima verossimilhança, como se segue:

$$\gamma = \frac{1}{4A} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + 4 \frac{A}{3}} \right)$$

$$A = \text{Ln } \bar{x} - \frac{\sum \text{Ln} x_i \cdot f}{N}$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\gamma}$$

c) Distribuição log normal:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-0,5 \left(\frac{\text{Ln} \left(\frac{x}{\theta} \right)}{\sigma} \right)^2}$$

onde:

σ é o desvio-padrão e θ é dado pela seguinte equação:

$$\theta = e^{\frac{\sum \text{Ln} x_i \cdot f}{N}}$$

O teste do qui quadrado (χ^2) foi utilizado na verificação dos melhores ajustes entre as funções probabilísticas analisadas.

2.2 Influência das condições meteorológicas sobre a temperatura mínima do ar na relva e a diferença abrigo-relva, em noites de geadas

Utilizaram-se dados de cinco localidades apenas: Campinas; Jaú; Manduri; Mococa e Ribeirão Preto, por apresentarem postos dotados de equipamentos para obtenção de todos os elementos meteorológicos.

Quadro 1. Relação e coordenadas geográficas dos locais analisados

Local	Lat. S.	Long. W.	Alt.	n	Período
			m		
Campinas	22°53'	47°05'	663	12	1962-94
Jaú	22°17'	48°33'	480	14	1957-94
Manduri	23°10'	49°20'	589	59	1968-94
Mococa	21°28'	47°00'	665	10	1963-94
Monte Alegre do Sul	22°55'	46°40'	777	15	1978-94
Limeira	22°27'	47°24'	689	12	1979-94
Pindamonhangaba	22°55'	45°30'	560	30	1955-94
Pindorama	21°10'	48°54'	562	15	1965-94
Ribeirão Preto	21°11'	47°48'	621	19	1962-94
Tatuí	23°21'	47°51'	609	40	1969-94

Fonte: Seção de Climatologia Agrícola, IAC.

Quadro 2. Valores do teste do qui quadrado (χ^2) para três modelos probabilísticos no ajuste dos dados da diferença de temperatura do ar entre o abrigo e a relva, em noites de geada no Estado de São Paulo ($\chi^2_{0,05}$ Tabela = 12,59)

Modelo probabilístico	χ^2 Calculado	Ajuste
Normal	56,24	Não
Gama	17,00	Não
Log normal	4,51	Sim

Efetou-se a análise de regressão na determinação das correlações existentes entre temperatura mínima de relva (RELVA) ou a diferença da temperatura do ar obtida em abrigo e na relva (DIF) e os seguintes elementos meteorológicos: temperatura mínima no abrigo (TMÍN), °C; velocidade média do vento no período entre 21h e 6h (VENTO),

m/s; temperatura do ar às 21h (T21h), °C; temperatura do ponto de orvalho às 21h (To21h), °C; nebulosidade média diária (NEB), %.

2.3 Equações de estimativa da temperatura mínima do ar sobre a relva e da diferença abrigo-relva em noites de geada

Desenvolveram-se equações de estimativa da temperatura mínima de relva (RELVA) e da diferença de temperatura entre abrigo e relva (DIF) em função dos elementos meteorológicos que apresentaram melhores correlações, nas noites de geadas tipicamente de radiação, ocorridas em 1975, 1981, 1985, 1988, 1990 e 1994, para os cinco locais analisados. O processo estatístico utilizado foi o da regressão passo-a-passo (Stepwise regression), sendo as equações obtidas validadas por meio de dados independentes, empregando a análise de regressão (r = precisão) (Thom, 1966) e do índice de concordância de Willmott (d = exatidão) (Willmott et al., 1985), e do erro absoluto médio (EAM).

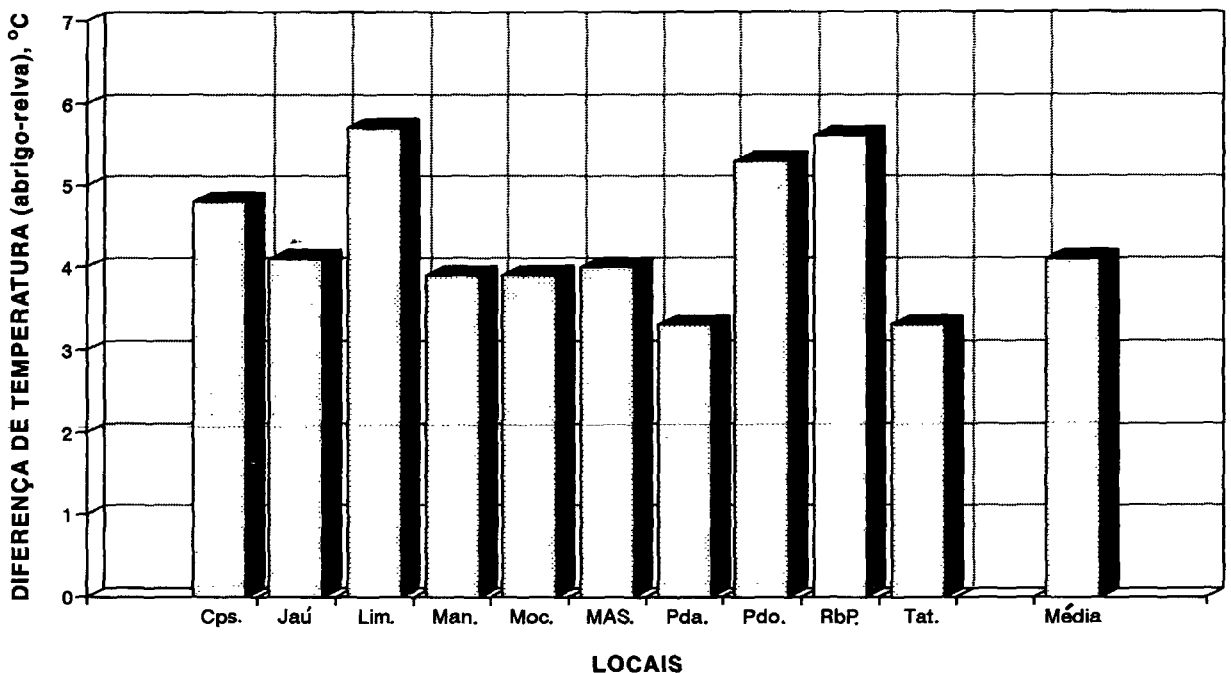


Figura 1. Valores médios da diferença entre a temperatura mínima do abrigo meteorológico e da relva, em noites de geada, para as seguintes localidades paulistas: Cps. = Campinas; Jaú; Lim. = Limeira; Man. = Manduri; Moc. = Mococa; MAS. = Monte Alegre do Sul; Pda. = Pindamonhangaba; Pdo. = Pindorama; RbP. = Ribeirão Preto; Tat. = Tatuí.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Diferença média entre a temperatura mínima do ar obtida em abrigo e sobre a relva

A figura 1 apresenta os valores médios da DIF para cada localidade analisada, assim como o valor médio para todos os locais paulistas. Pode-se observar que a DIF apresentou uma variação acentuada entre as diversas localidades, o que pode estar relacionado às localizações topográficas dos postos meteorológicos.

Esse fato também é considerado por Bootsma (1976a), que, ao validar seu método de estimativa da diferença da temperatura entre abrigo e relva, verificou que as estimativas apenas se mostravam válidas para o local onde foram obtidos os dados que originaram a equação.

A figura 1 mostra, ainda, que os valores médios da DIF variaram de 3,3 a 5,7°C, sendo a média para todos os locais de 4,1°C, tendo sido analisados, conjuntamente, 226 pares de dados. Esse valor é praticamente igual ao encontrado por Pinto et al. (1978), de 4,2°C, para o Estado de São Paulo, analisando, porém, um menor número de dados.

3.2 Probabilidade de ocorrência da diferença de temperatura entre o abrigo e a relva

Os valores da DIF foram submetidos a três modelos probabilísticos de distribuição. A frequência observada dos intervalos de classe e as estimadas pelos modelos probabilísticos são apresentadas na figura 2. Através dessa figura e do quadro 2, nos quais se encontram os valores do teste χ^2 , pode-se observar que o modelo probabilístico que possibilitou melhor ajuste entre frequências estimadas e observadas foi o log normal. Pinto et al. (1978), quando fizeram a mesma análise para o Estado de São Paulo, verificaram que a diferença de temperatura mínima do ar entre o abrigo e a relva apresentava uma distribuição normal. Isso se deve, provavelmente, ao fato de os autores citados terem incluído em suas análises a localidade de Itararé, a uma altitude de 1.150m, com uma probabilidade anual de ocorrência de geada de 86%, e onde os gradientes térmicos são normalmente maiores, fa-

zendo com que a distribuição se torne normal. Neste trabalho, não se consideraram os dados de Itararé pelo fato de essa localidade não representar a condição geral do Estado.

No quadro 3, encontra-se a probabilidade de ocorrência da DIF. Verifica-se que as maiores estão entre 2,1 e 5°C, somando 68% de probabilidade. A probabilidade de que a DIF seja maior ou igual à média (4,1°C) é de 40,9%.

3.3 Influência das condições climáticas sobre a temperatura mínima de relva e sobre a diferença de temperatura entre o abrigo e a relva

O quadro 4 mostra as correlações entre a RELVA e os elementos meteorológicos: TMÍN; VENTO; T21h; To21h e NEB. Pode-se verificar que as correlações variaram de acordo com a localidade.

Os elementos To21h, TMÍN, VENTO e NEB apresentaram as melhores correlações para todos os locais, em ordem decrescente. Por outro lado, o T21h revelou as menores correlações.

As correlações entre a DIF e os elementos meteorológicos são indicadas também no quadro 4. As melhores foram com VENTO, NEB e To21h.

Quadro 3. Probabilidade de ocorrência da diferença de temperatura do ar entre o abrigo e a relva, em noites de geada, a partir da "distribuição log normal" para o Estado de São Paulo

Diferença de temperatura (abrigo-relva)	Probabilidade de ocorrência
	%
0-1	0,11
1,1-2	7,38
2,1-3	23,71
3,1-4	25,94
4,1-5	18,35
5,1-6	11,37
6,1-7	6,19
7,1-8	3,27
8,1-9	1,70

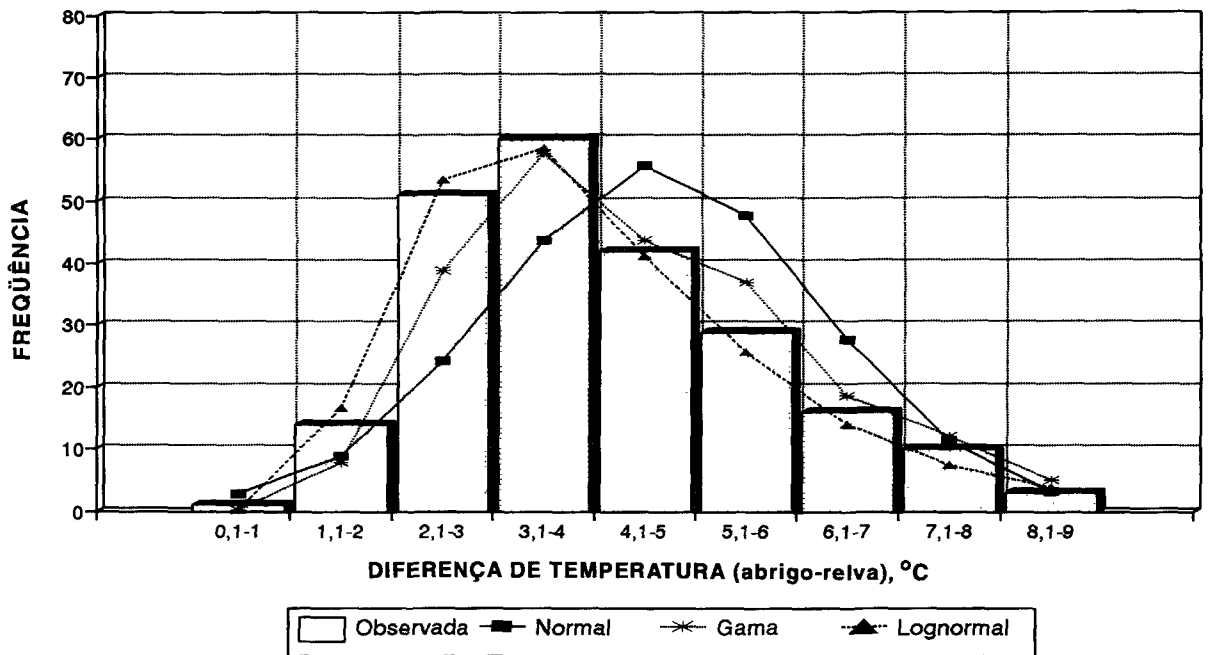


Figura 2. Frequências observadas e estimadas por modelos probabilísticos. normal, gama e log normal, da diferença de temperatura do ar entre o abrigo e a relva em noites de geada, no Estado de São Paulo.

Quadro 4. Coeficientes de correlação (r) entre a temperatura mínima de relva (RELVA) ou a diferença de temperatura entre o abrigo e a relva (DIF) e elementos meteorológicos, em noites de geada, em diferentes localidades paulistas

Relação	Campinas	Jaú	Manduri	Mococa	Ribeirão Preto	
RELVA x	TMÍN	0,58	0,43	0,83	0,71	0,66
	VENTO	0,81	0,41	0,70	0,66	0,28
	T21h	0,39	0,56	0,43	-0,10	0,51
	To21h	0,87	0,59	0,63	0,93	0,76
	NEB	0,61	0,44	0,60	0,56	0,70
DIF x	TMÍN	-0,27	0,39	-0,30	-0,14	-0,18
	VENTO	-0,93	-0,95	-0,72	-0,65	-0,59
	T21h	-0,10	-0,08	-0,02	0,32	-0,20
	To21h	-0,83	-0,58	-0,31	-0,93	-0,75
	NEB	-0,78	-0,93	-0,78	-0,85	-0,63

Bootsma (1976a,b), em seus estudos, também verificou que o vento e a nebulosidade são os principais elementos que influenciam a diferença de temperatura mínima do ar entre o abrigo e a relva em noites de inversão térmica, e Rahn & Brown (1971) constataram que valores elevados de umidade do ar reduzem a diferença de temperatura entre o abrigo e a relva.

As altas correlações negativas entre a DIF e esses elementos meteorológicos não surpreendem, visto que, quanto menor a velocidade do vento, a nebulosidade e a umidade do ar, maior é a diferença entre a temperatura mínima do ar obtida em abrigo e junto à relva, pois tais condições favorecem e intensificam a inversão térmica (Geiger, 1965).

Quadro 5. Coeficientes de correlação (r) entre a temperatura mínima da relva (RELVA) ou a diferença de temperatura entre o abrigo e a relva (DIF) e elementos meteorológicos, em noites de geadas, levando em consideração todas as localidades

Parâmetro	TMÍN	VENTO	T21h	To21h	NEB
RELVA	0,62	0,58	0,41	0,66	0,38
DIF	-0,07	-0,78	-0,10	-0,57	-0,55

Quadro 6. Equações de estimativa da temperatura mínima de relva (RELVA) e da diferença de temperatura entre o abrigo e a relva (DIF), em noites de geadas, com base em elementos meteorológicos

Local	Equação	R ²
Campinas	RELVA = -6,45 + 0,74.To21h	0,75*
Jaú	RELVA = -4,01 + 0,38.To21h	0,35ns
Manduri	RELVA = -4,42 + 1,27.TMÍN	0,68**
Mococa	RELVA = +4,41 + 0,61.TMÍN + 0,43.To21h	0,98*
Ribeirão Preto	RELVA = -5,66 + 0,46.To21h	0,58**
Geral	RELVA = -7,14 + 0,94TMÍN + 1,27VENTO + 0,24To21h	0,85*
Campinas	DIF = 8,14 - 2,19.VENTO	0,85*
Jaú	DIF = 7,75 - 1,75.VENTO	0,90*
Manduri	DIF = 6,24 - 0,75.VENTO - 0,11.NEB	0,98*
Mococa	DIF = 4,77 - 0,37.To21h	0,87*
Ribeirão Preto	DIF = 6,24 - 0,34.To21h	0,56**
Geral	DIF = 7,22 - 1,31.VENTO - 0,23.To21h	0,76*

* Significativo ao nível de 1%. ** Significativo ao nível de 5%. ns: não significativo estatisticamente.

Analisando, de modo geral, os dados do quadro 5, confirmam-se as constatações de Rahn & Brown (1971) e Bootsma (1976a, b), sendo novamente as melhores correlações com os elementos VENTO, To21h e NEB.

3.4 Equações de estimativa da temperatura mínima de relva e da diferença de temperatura entre abrigo e relva

O quadro 6 apresenta as equações de estimativa da RELVA e da DIF para cinco localidades paulistas e uma equação geral.

Entre as equações de estimativa da RELVA, somente a obtida para a localidade de Jaú não

Quadro 7. Valores do coeficiente de correlação (r), do índice de concordância de Willmott (d) e do erro absoluto médio (EAM), utilizados na validação das equações de estimativa da temperatura mínima de relva (RELVA) e da diferença de temperatura entre o abrigo e a relva (DIF)

Parâmetro	Local	n	r	d	EAM
					°C
RELVA	Campinas	5	0,57	0,67	1,4
	Jaú	--	--	--	--
	Manduri	17	0,67	0,81	1,1
	Mococa	5	0,59	0,76	0,8
	Ribeirão Preto	12	0,73	0,83	1,0
	Geral	46	0,63	0,77	1,1
DIF	Campinas	5	0,49	0,29	1,5
	Jaú	7	0,15	0,25	0,9
	Manduri	17	0,70	0,78	1,0
	Mococa	5	0,21	0,45	1,0
	Ribeirão Preto	12	0,68	0,79	1,2
	Geral	46	0,48	0,68	1,2

apresentou significância estatística, justificando, desse modo, sua não-utilização. Já as equações desenvolvidas para os demais locais e a equação geral apresentaram significância ao nível de 1% para Campinas, Mococa e equação geral e ao nível de 5% para Manduri e Ribeirão Preto.

Quanto às equações de estimativa da DIF, todas se mostraram significativas estatisticamente; somente em Ribeirão Preto a significância foi ao nível de 5%; nas demais, a 1% de probabilidade. Os coeficientes de determinação encontrados estão próximos aos obtidos por Bootsma (1976a), de 0,51 a 0,86.

Validaram-se as equações de estimativa da RELVA e da DIF, utilizando-se dados independentes (Quadro 7).

Nota-se que as estimativas da RELVA apresentaram valores próximos aos observados em todas as localidades, com índice "d" variando de 0,67 a 0,83, porém com baixa precisão, principalmente para Campinas e Mococa, com o coeficiente de correlação, "r", respectivamente, de 0,57 e 0,59. Os valores dos erros absolutos médios variaram de 0,8 a 1,4°C.

Na análise das estimativas da DIF, os índices de ajuste somente foram razoáveis em Manduri e Ribeirão Preto com exatidão (d) de 0,78 e 0,79 e precisão (r) de 0,70 e 0,68 respectivamente. Em Campinas, Jaú e Mococa, tanto a exatidão (d) quanto a precisão (r) foram muito baixas, não indicando bom ajuste entre os dados estimados e observados. Isso mostra que há influência de outros elementos na determinação da DIF, os quais não foram detectados e considerados pelas equações.

As equações de estimativa que apresentaram bom ajuste são úteis, segundo Bootsma (1976a), para a estimativa da temperatura mínima do ar sobre a relva para períodos com ausência de dados, servindo, ainda, como subsídio a novos estudos ligados à previsão da ocorrência de geadas.

4. CONCLUSÕES

1. A diferença média entre a temperatura mínima do abrigo e da relva, em noites de geada, foi de 4,1°C, com probabilidade de 40,9% de ocorrência de valores maiores ou iguais à média.

2. Os elementos meteorológicos que apresentaram melhor correlação com a temperatura mínima da relva foram: To21h; TMÍN; VENTO e NEB; e os que revelaram melhor correlação com a diferença de temperatura entre o abrigo e a relva foram: VENTO, NEB e To21h.

3. Foi possível o desenvolvimento de equações de estimativa da temperatura mínima do ar sobre a relva e da diferença de temperatura do ar entre a obtida em abrigo e a obtida junto à relva, porém nem todas mostraram bom ajuste quando validadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOOTSMA, A. Estimating grass minimum temperatures from screen minimum values and other climatological parameters. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, **16**(1):103-113, 1976a.
- BOOTSMA, A. Estimating minimum temperature and climatological freeze risk in helly terrain. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, **16**(1):425-443, 1976b.
- CAMARGO, M.B.P.; PEDRO JÚNIOR., M.J.; ALFONSI, R.R. & ORTOLANI, A.A. Probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas mensais e anuais no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, **52**(2):161-168, 1993.
- GEIGER, R. *The climate near the ground*. Cambridge, Harvard University Press, 1965. 611p.
- PINTO, H.S.; ALFONSI, R.R. & PEDRO JR., M.J. Estimativa de danos em cafezais por geada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 4., Caxambu, 1976. *Resumos*. Caxambu, Instituto Brasileiro do Café, 1976. p.25-26.
- PINTO, H.S.; CAMARGO, M.B.P.; NÓBREGA, M. & ORTOLANI, A.A. Um sistema computacional para levantamento de prejuízos causados por geadas a cafeicultura do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 6., Ribeirão Preto, 1978. *Resumos*. Ribeirão Preto, Instituto Brasileiro do Café, 1978. p.145-147.
- RAHN, J. J. & BROWN, D. M. Estimating corn canopy extreme temperatures from shelter values. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, **8**(1):129-138, 1971.
- THOM, H.C.S. *Some methods of climatological analysis*. Geneva, World Meteorological Organization, 1966. 53p. (WMO, 199 - TP, 103 - Technical, 81)
- WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J. & ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, Washington, **90**(C5):8995-9005, 1985.