

ESTIMATIVA DE HORAS DE FRIO ABAIXO DE 7°C NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO¹

ANTONIO LOURENÇO GUIDONI², LEANDRO ROBERTO FEITOZA³,
FERNANDO SANTIBÁÑEZ QUEZADA⁴ e JORGE MAMERI DE AZEVEDO⁵

RESUMO - Foram comparados os modelos de regressão linear, quadrática e exponencial para estimar o número de horas de frio igual ou inferior a 7°C. As equações propostas são funções de temperaturas médias mensais ou médias das mínimas, medidas à sombra. As equações de regressão quadrática ajustaram-se melhor aos dados e permitem obter estimativas mais precisas. A partir de dados comuns, como as normais de temperaturas médias e médias das mínimas, pode-se estimar horas de frio para locais desprovidos desta informação, no Estado do Espírito Santo.

Termos para indexação: agroclimatologia, temperatura, modelos de regressão, fruticultura de clima temperado.

ESTIMATE OF CHILLING HOURS BELOW 7°C IN ESPIRITO SANTO STATE, BRAZIL

ABSTRACT - Linear, quadratic and exponential regression models were compared to estimate the number of hours with temperature equal or below 7°C. The studied equations were functions of the average and minimum monthly temperatures. The quadratic regression equation was found to be the most adequate. Based on common data as the minimum and average temperature, the number of chilling hours could be estimated in a given area of the State of Espírito Santo without actual data.

Index terms: agroclimatology, temperature regression models, chilling temperatures, deciduous fruit trees.

INTRODUÇÃO

O Estado do Espírito Santo, com apenas 45.597 km², possui regiões com características agroclimáticas muito distintas. Nas áreas montanhosas, ao redor de 900 metros de altitude, especialmente no distrito de Aracê, está-se tornando comum o cultivo de fruteiras de clima temperado. Nesta zona, localiza-se a Fazenda Experimental de Mendes da Fonseca, que dispõe de informações sobre a adaptação de algumas dessas plantas. Para a introdução de espécies e variedades, bem como para a expansão de regiões de plantio, é necessário dispor de um trabalho-base de planificação que seja indicador do potencial para o cultivo dessas plantas no estado.

As fruteiras de clima temperado apresentam um mecanismo de adaptação às regiões frias, e a quantidade de frio é considerada o principal agente de quebra de dormência. Portanto, a quantidade de horas de frio acumulada durante o período de repouso dessas plantas constitui um importante elemento biometeorológico regulador da fenologia e produção dessas espécies.

De acordo com Pascale & Aspiazu (1963), computa-se o resfriamento para as fruteiras de clima temperado como acumulações de horas de frio, quando a temperatura do ar decresce de um nível térmico estabelecido aos 7°C. Nightingale & Black (1934a, 1934b) consideram as temperaturas abaixo deste nível limitantes à atividade de crescimento das fruteiras de clima temperado. Dessa forma, as horas de frio servem de padrão de comparação da intensidade com que esses vegetais superam o período de descanso ou inatividade vegetativa.

As exigências variam de acordo com as espécies e variedades. Embora sabendo-se que as temperaturas superiores a este limite possam ser efetivas, esta característica é tida como básica para o zoneamento de fruteiras de clima temperado, especialmente pelo fato de a maioria dos estu-

¹ Aceito para publicação em 4 de janeiro de 1982. Trabalho subvencionado pela Financiadora de Estudos e Projetos-FINEP, Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária-EMCAPA e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA.

² Eng^o - Agr^o, M.Sc., EMBRAPA/EMCAPA, Caixa Postal 125, CEP 29154 - Cariacica, ES.

³ Eng^o - Agr^o, M.Sc., EMCAPA, Bolsista do CNPq.

⁴ Eng^o - Agr^o, Ph.D., Univ. de Chile, Casilla 1004, Santiago de Chile - Chile.

⁵ Eng^o - Agr^o, EMCAPA.

dos caracterizarem as exigências das plantas sob este aspecto.

Vários pesquisadores têm-se empenhado em determinar o número de horas de frio abaixo de 7°C, em função de um dado meteorológico de registro mais numeroso.

Damarío (1969) desenvolveu um método para estimar o número de horas de frio para locais cujos valores médios de temperaturas mínimas sejam conhecidos. Mota (1975) julga que, enquanto esse método não for testado em outros países, poderá ser usado com sucesso em regiões de relevo suave em vista dos dados básicos (a média de temperatura mínima anual e a intensidade de fase térmica do inverno) usados nos cálculos.

Markus (1952), trabalhando com períodos correspondentes a 90 meses (junho, julho e agosto), estudou a relação entre as variáveis temperatura média das mínimas e soma de horas de frio mensais, obtendo um coeficiente de correlação - 0,82. O modelo quadrático foi o que melhor expressou a relação entre as variáveis em estudo. Mota (1957), que correlacionou a temperatura média com o número de horas de frio mensal, obteve um coeficiente de correlação igual a 0,86, ajustando-se aos dados a regressão linear.

Angelocci et al. (1979) propuseram equações matemáticas para estimar o total diário de horas abaixo de determinada temperatura-base, modelos esses que dependem de valores diários das tempe-

raturas máximas, mínimas e das 21 horas (hora local).

Ferreira (1975) estimou as horas de frio ($T < 7^{\circ}\text{C}$) acumuladas, para o Estado de Minas Gerais, com o emprego da fórmula $Y = 485,1 - 28,52 X$ (Mota 1957) onde Y é o total de horas de frio acumuladas no mês e X a temperatura média do mês, normal de 30 anos.

Santa Maria (s.d.) avaliou, para três regiões do México, as fórmulas de Mota (Mota 1957), Shade, Crossa-Raynoud, Bibade e Weimberger para estimar o total de horas de frio em função da temperatura máxima, mínima e média. Observou-se que a fórmula de Mota proporcionou estimativa mais próxima do número real de frio.

O Estado do Espírito Santo carece de informações básicas sobre recursos naturais, que permitam o conhecimento de fatores limitantes à exploração das culturas e um planejamento regional mais preciso. Com este trabalho pretende-se, pela análise de regressão, estabelecer um método simples para a estimativa de horas de frio mensais no estado.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de temperaturas médias e média das mínimas do ar à sombra e os diagramas semanais de termógrafo e termogrógrafo, para a execução do trabalho, são de locais situados em regiões montanhosas dos Estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo (Tabela 1). Os

TABELA 1. Estações meteorológicas analisadas para o desenvolvimento de equações estimativas de horas de frio.

Estações	Fontes	Localização geográfica		
		Latitude	Longitude	Altitude (m)
1. Alto Itatiaia, RJ*	INMET	22°25'	44°50'	2199
2. Diamantina, MG	INMET	18°14'	43°36'	1295
3. Maria da Fé, MG*	INMET	22°18'	45°23'	1290
4. Forno Grande, Domingos Martins, ES	EMCAPA	20°31'	41°06'	1250
5. Barbacena, MG*	INMET	21°14'	43°46'	1170
6. Fazenda Angelim Gagno, Domingos Martins, ES*	EMCAPA	20°24'	41°04'	980
7. Parque Nacional de Teresópolis, RJ*	INMET	22°26'	42°59'	959
8. Fazenda Exp. Mendes da Fonseca, Domingos Martins, ES*	EMCAPA	20°23'	41°03'	950
9. Juiz de Fora, MG	INMET	21°45'	43°21'	925
10. Nova Friburgo, RJ*	INMET	22°17'	43°32'	849
11. Barreirinha, RJ	INMET	22°27'	44°50'	757

* Estações meteorológicas selecionadas

referidos dados foram adquiridos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária (EMCAPA).

As equações de regressão foram ajustadas para a estimativa do número de horas de frio mensais, em função de temperatura média e temperatura média das mínimas mensais. O número de horas em que a temperatura permaneceu igual ou inferior a 7°C no mês foi determinado pelos exames dos diagramas de termógrafos e termoígrafos.

De posse de todas as informações referentes aos locais listados na Tabela 1, trabalhou-se apenas com as observações dos locais e meses constantes na Tabela 2, por serem períodos que apresentam discrepâncias inferiores a 1°C entre os registros dos diagramas e as medidas de temperaturas máximas e mínimas dos termômetros.

O modelo linear ($Y = a + bx$), o quadrático ($Y = a + bx + cx^2$) e o exponencial ($Y = a \cdot x^b$) foram testados, abrangendo, separadamente, os períodos referentes aos meses de abril a outubro, de maio a setembro, de maio a agosto e de junho a agosto. A escolha do modelo baseou-se no valor e significância do coeficiente de determinação corrigido.

Através da equação de regressão quadrática referente ao período de maio a agosto, que tem como variável dependente a temperatura média, estimaram-se as horas de frio do mês mais frio (julho) em um dado ponto a

1.500 metros de altitude, no Estado do Espírito Santo.

Consideraram-se as áreas do Espírito Santo que apresentam a estimativa de horas de frio, no mês de julho, superior a 95 horas (regiões situadas acima de 1.500 metros de altitude), como de baixa expressão, de modo geral não-disponíveis para fins agrícolas. Convencionou-se que as observações com o número de horas de frio inferior a 130 horas são mais adequadas ao estado, para este estudo.

Estratificaram-se os dados referentes aos meses de maio a agosto em dois grupos, a saber: um conjunto de dados com número de horas de frio mensal superior a 60 horas e outro com número de horas de frio mensal inferior a 130 horas.

Para ambos os conjuntos de dados ajustaram-se também o modelo linear, o quadrático e o exponencial. A escolha do modelo baseou-se no valor e significância do coeficiente de determinação corrigido e de regressão. Os valores de interseção entre as equações de um e outro conjunto de dados foram considerados como limites para o uso de uma ou outra equação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos diversos períodos estudados, a equação de regressão quadrática ajustou-se melhor aos da-

TABELA 2. Número de horas de frio abaixo de 7°C, temperatura média (T) e média das mínimas (t) mensais usadas para o desenvolvimento das equações.

Local e ano	Abril			Maio			Junho			Julho			Agosto			Setembro			Outubro			
	Horas frio de	t	T	Horas de frio	t	T	Horas de frio	t	T	Horas de frio	t	T	Horas de frio	t	T	Horas de frio	t	T	Horas de frio	t	T	
Alto Itat., RJ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	244,5	5,0	8,6	45,0	6,9	11,3	81,5	7,8	10,8	-	-	-	
1925	-	-	-	-	-	-	-	-	-	246,5	4,8	8,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1926	52,0	9,8	12,4	183,0	6,3	9,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1927	64,5	9,1	12,3	-	-	-	182,0	5,8	9,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1928	-	-	-	155,5	6,5	9,9	64,0	7,0	11,1	-	-	-	227,5	4,8	9,1	68,5	8,1	12,2	67,5	8,0	11,8	
1929	111,5	6,8	9,9	229,0	5,9	8,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31,0	9,2	12,8	-	-	-	
1944	76,0	6,9	10,1	243,5	5,0	8,8	195,0	5,4	9,1	-	-	-	-	-	-	37,5	7,8	12,2	-	-	-	
1945	-	-	-	260,0	4,9	8,7	186,1	5,7	9,5	-	-	-	-	-	-	158,5	6,5	10,1	29,5	8,6	12,1	
1946	50,0	7,4	10,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	112,5	6,3	10,4	15,0	8,0	11,9	26,5	9,2	12,5	
1947	-	-	-	68,5	7,4	10,5	-	-	-	282,0	4,5	7,8	145,5	5,8	9,5	-	-	-	-	-	-	
1948	-	-	-	136,0	6,8	10,1	-	-	-	95,5	6,6	9,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1949	55,0	8,0	11,4	-	-	-	73,5	6,5	9,7	209,5	5,2	8,9	-	-	-	-	-	-	-	34,5	7,7	11,0
1950	-	-	-	90,5	6,8	10,6	210,5	5,5	9,2	262,5	4,4	8,7	64,0	6,7	10,9	90,5	7,0	11,3	59,0	8,2	11,5	
Barbacena, MG	-	-	-	-	-	-	24,0	10,3	15,1	7,0	10,3	15,4	-	-	-	2,0	13,0	19,3	-	-	-	
1974	-	-	-	5,0	11,2	16,3	2,0	11,0	16,1	32,0	9,2	14,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1975	-	-	-	-	-	-	1,0	11,7	16,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1976	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Faz. Exp. M.F., ES	-	-	-	4,0	11,8	17,1	27,5	9,5	15,3	2,0	10,4	15,8	16,0	9,6	15,7	-	-	-	-	-	-	
1978	-	-	-	-	-	-	35,5	8,5	14,9	22,0	9,2	14,7	5,0	10,3	16,1	-	-	-	-	-	-	
1979	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39,5	8,7	14,3	3,0	10,7	15,5	-	-	-	-	-	-	
Faz. A. Gagno, ES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1979	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
M. da Fé, MG	-	-	-	-	-	-	10,0	10,3	15,8	23,0	9,8	14,8	-	-	-	11,0	11,4	16,6	-	-	-	
1930	-	-	-	38,0	10,0	15,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,5	10,8	16,0	-	-	-	
1931	-	-	-	-	-	-	37,5	8,2	13,7	-	-	-	26,0	8,0	14,6	-	-	-	-	-	-	
1932	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
N. Frib., RJ	-	-	-	-	-	-	11,0	11,1	15,6	-	-	-	2,0	11,1	16,8	-	-	-	-	-	-	
1974	-	-	-	2,0	11,7	16,7	4,0	10,9	15,8	28,5	9,0	14,7	-	-	-	1,0	12,6	17,7	-	-	-	
1975	-	-	-	-	-	-	22,0	10,4	16,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1976	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Parq. Nac. Ter., RJ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,0	11,3	16,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1973	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1974	-	-	-	-	-	-	11,0	10,6	14,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1975	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40,5	8,0	13,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

dos, tanto para a temperatura média como para média das mínimas. Os coeficientes de determinação foram superiores a 86% e os coeficientes quadráticos de regressões foram significativos ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste t de Student.

Na Tabela 2 verifica-se que, em Alto Itatiaia, o frio no mês de maio apresenta-se mais rigoroso que no mês de setembro, o que concorda com Markus (1952), em trabalho realizado para Porto Alegre. No Estado do Espírito Santo, as horas de frio, no período de maio, começam a ser estimadas em locais situados a partir de 800 metros de altitude, enquanto que, no mês de setembro, o frio só se inicia a partir de 1.000 metros. Nessa época, as plantas já passaram pela fase de florescimento. Portanto, devido à importância da estimativa de horas de frio nos meses de maio a agosto, optou-se por trabalhar com dados deste período.

A equação de regressão que melhor estima horas de frio em função da temperatura média, quando se envolvem todos os dados do período de maio a agosto, tem a seguinte forma:

$$Y = 1210,888 - 159,629T + 5,292T^2 \quad R^2 = 0,93$$

Esta equação estima 95 horas de frio, para o mês mais frio, a 1.500 metros de altitude. As zonas superiores a 1.800 metros em áreas de campos naturais ou artificiais, florestas nativas ou vegetações campestres, são determinadas como regiões de preservação permanente (Brasil s.d.). As situadas acima de 1.500 metros ocorrem apenas em torno

do Pico da Bandeira, onde os limites do Parque Nacional do Caparaó, irregulares em sua altitude, em muitos pontos são inferiores a esta altura. Considerou-se, portanto, que o conjunto de observações de importância para este trabalho, no Estado do Espírito Santo, estaria bem representado, tomando-se os dados de até, no máximo, 130 horas de frio mensal.

Com este conjunto de dados, obteve-se melhor ajustamento através das equações (1) e (2) constantes da Tabela 3. As curvas determinadas encontram-se representadas na Fig. 1. As restrições de uso dessas equações, que empregam a temperatura média e média das mínimas, são: $10,7^{\circ}\text{C} < T < 17^{\circ}\text{C}$ e $7,2^{\circ}\text{C} < t < 12,3^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Entretanto, pode-se desprezar valores de temperaturas médias superiores a $16,5^{\circ}\text{C}$ e média das mínimas superior a $11,5^{\circ}\text{C}$, uma vez que, na tomada de dados situados nestas regiões das curvas ($15^{\circ}\text{C} < T < 17^{\circ}\text{C}$ e $10^{\circ}\text{C} < t < 12^{\circ}\text{C}$), não foram considerados aqueles dados que não apresentaram horas de frio e que poderiam modificar, ligeiramente, o formato da curva nesta zona, evitando-se, assim, pequenos erros de superestimativa, em condições em que o número de horas de frio já se apresenta, normalmente, com valores baixos.

Para o caso da temperatura média quando se envolvem todos os dados, o componente quadrático apresenta-se significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t de Student. Quando se restringe aos dados inferiores a 130 horas, apenas o componente linear mostra-se significativo, po-

TABELA 3. Estimativa das equações de regressão do número de horas de frio (Y) em função da temperatura média (T) e média das mínimas (t) mensais e respectivos coeficientes de determinação corrigidos (R^2) e não corrigidos (R^2).

Restrição do modelo	Equações de regressão		R^2	R^2
$10,7^{\circ}\text{C} < T < 17^{\circ}\text{C}$	$\hat{Y} = 251,583 - 19,262 \cdot T + 0,263^{ns} T^2$	(1)	0,87*	0,86*
$7,2^{\circ}\text{C} < t < 12,3^{\circ}\text{C}$	$\hat{Y} = 370,765 - 60,005 \cdot t + 2,445 \cdot t^2$	(2)	0,89*	0,88*
$7,8^{\circ}\text{C} < T < 10,7^{\circ}\text{C}$	$\hat{Y} = 933,916 - 80,282 \cdot T$	(3)	0,87*	0,86*
$4,4^{\circ}\text{C} < t < 7,2^{\circ}\text{C}$	$\hat{Y} = 616,550 - 76,290 \cdot t$	(4)	0,87*	0,86*

* Significativo ao nível de 1% de probabilidade;

^{ns} não-significativo ao nível de 5% de probabilidade.

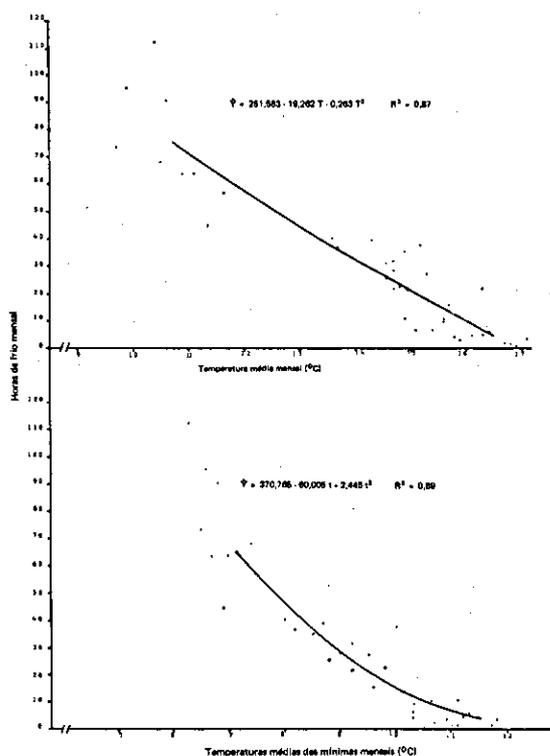


FIG. 1. Regressão curvilínea entre as horas de frio (Y), temperatura média (T) e média das mínimas (t) mensais.

rém, ambos os modelos estimam com precisão de mesma ordem.

O modelo que considera a variável temperatura média das mínimas apresenta-se melhor ajustado do que aquele que envolve a temperatura média.

Nas condições do presente estudo, as equações de Mota (1957) e Markus (1952) superestimam os valores das horas de frio.

Em situações com a temperatura média inferior a 10,7°C e média das mínimas inferior a 7,2°C, ajustou-se melhor a regressão linear representada pelas equações (3) e (4) na Tabela 3, onde se consideram todos os dados com número de horas de frio maior que 60 horas, no período de maio a agosto. Porém, no Estado do Espírito Santo, de acordo com estimativas de temperaturas médias (Feitoza et al. 1979), o seu uso limita-se às áreas superiores a 1.500 metros de altitude, não disponíveis para fins agrícolas.

CONCLUSÕES

1. Na estimativa de horas de frio para locais desprovidos de registros de temperaturas, indicam-se os seguintes modelos:

a. Em função da temperatura média:

$$\hat{Y} = 251,583 - 19,262T + 0,263T^2$$

(10,7°C < T < 17°C)

b. Em função da média das mínimas:

$$\hat{Y} = 370,765 - 60,005t + 2,445t^2$$

(7,2°C < t < 12,3°C)

2. O modelo que utiliza como variável independente a temperatura média das mínimas estima o número de horas de frio com maior precisão.

REFERÊNCIAS

- ANGELOCCI, L.R.; CAMARGO, M.B.P. de V.; PEDRO JUNIOR, M.J.; ORTOLANI, A.A. & ALFONSI, R. R. Estimativa do total de horas abaixo de determinada temperatura-base através de medidas da temperatura do ar. *Bragantia*, Campinas, 38: 27-36, 1979.
- BRASIL, Leis, decretos, etc. Lei nº 4771 de 15 de outubro de 1965, institui o novo código Florestal. In: FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA A CONSERVAÇÃO DA NATUREZA, Rio de Janeiro. Guia de ação comunitária para a conservação da natureza e dos recursos naturais. Rio de Janeiro, s.d. p.253-65.
- DAMARIO, E.A. Carta estimada de horas de frio de la Republica Argentina. *Rev. Fac. Agron. Vet. B. Aires*, 17(2): 25-38, 1969.
- FEITOZA, L.R.; SCARDUA, J.A.; SEDIYAMA, G.C.; OLIVEIRA, L.M. de & VALLE, S.S. Estimativa das temperaturas médias mensais e anual do Estado do Espírito Santo. *R. Centro Ci. Rurais, Santa Maria*, 9(3): 279-91, 1979.
- FERREIRA, A.A. Estudo da viabilidade técnico-econômica da fruticultura de clima temperado no Estado de Minas Gerais. Viçosa, UFV, 1975. 218p. Tese Mestrado.
- MARKUS, R. Um estudo estatístico dos invernos de Porto Alegre em relação às exigências de frio das fruteiras de clima temperado. *R. Agron. Porto Alegre* (187): 88-9, 1952. Número especial.
- MOTA, F.S. da. Período de crescimento. In: _____ *Meteorologia agrícola*. São Paulo, Nobel, 1975. p.173-6.
- MOTA, F.S. da. Os invernos de Pelotas, RS, em relação às exigências das árvores frutíferas de folha caducas. Pelotas, Rs, IPEAS 1957, 38p. (Instituto Agrônomico do Sul. Boletim Técnico, 18).
- NIGHTINGALE, G.T. & BLACK, M.A. Effects of temperature on the growth and composition of stauman and boldwin apple. New Jersey, New Jersey Agricultural Experiment Station, 1934b. 20p. (NJAE - Bulletin, 566).

- NIGHTINGALE, G.T. & BLACK, M.A. Effects of temperature on the growth and metabolism of Elberta peach trees with notes on the growth response of other varieties. New Jersey, New Jersey Agricultural Experiment Station, 1934a. (NJAE - Bulletin, 567).
- PASCALE, A.L. & ASPIAZU, C. Regimen de horas de frio durante el invierno en Buenos Aires. Rev. Fac. Agron. Vet. B. Aires, 16(11): 63-82, dic. 1963.
- SANTA MARIA, G.M. Evaluación de fórmulas para el cálculo de horas de frio en algunas zonas frutícolas de México. México, Banco Nacional Agropecuario, s.d. 20p. Xerox.