

ANÁLISE DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DO AR OCORRIDAS EM SANTA MARIA,
RS. II - PROBABILIDADE DAS DATAS DE OCORRÊNCIA DAS TEMPERATURAS
MÍNIMAS DO AR COMPREENDIDAS NO INTERVALO DE -1 a 9°C.

Analysis of Minimum Temperatures Occured in Santa Maria, RS. II -
Possibilites of Minimum Temperatures Between -1 and 9°C.

Valduino Estefanel*, Paulo Augusto Manfron**, Ailo Valmir Saccol*,
Galileo Adeli Buriol*, Flávio Miguel Schneider*
e Arno Bernardo Heldwein*

RESUMO

Utilizando os valores das temperaturas mínimas diárias do ar registradas na Estação Climatológica Principal de Santa Maria, RS e com base na distribuição normal, calcularam-se tabelas com as datas de ocorrência da primeira e última temperatura mínima diária anual do ar menor ou igual a -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9°C para diferentes níveis de probabilidade. Também é apresentada uma tabela com a duração da estação de cultivo para vários níveis térmicos e de probabilidade.

As datas de ocorrência das temperaturas mínimas do ar e a duração da estação de cultivo também podem ser obtidas com o uso de modelos de regressão exponencial.

UNITERMOS: temperatura mínima do ar, probabilidades, data de ocorrência, estação de cultivo.

SUMMARY

Using minimum temperatures data obtained by a main climatological station located in Santa Maria, RS and based on the normal distribution, tables were calculated with the dates of the first and the last daily minimum temperatures equal or lower than -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, and 9°C for different probability levels. Also is presented a table with the length of the growing season.

Occurance dates of the minimum temperatures and length of the growing season can also be obtained using exponential regression models.

KEY WORDS: minimum temperature, probabilities, occurrence date, growing season.

* Professores Adjuntos do Departamento de Fitotecnia da UFSM e bolsista do CNPq.

** Professor Assistente do Departamento de Fitotecnia da UFSM.

INTRODUÇÃO

A resistência dos vegetais às temperaturas mínimas do ar depende principalmente, da espécie, da cultivar e do subperíodo de desenvolvimento (2). O estudo climático da intensidade destas temperaturas permite determinar a impossibilidade do cultivo quando são inferiores ao valor mínimo letal da espécie ou cultivar. A maior importância recai nas culturas perenes, frutíferas ou florestais, e naquelas anuais de cultivo invernal (4).

As temperaturas mínimas do ar que ocorrem no Estado do Rio Grande do Sul não são letais para as espécies caducifólicas quando estão em repouso invernal mas, em muitas regiões, são limitantes para as termófilas (10). Prejuízos econômicos, entretanto, podem advir com a ocorrência de períodos com temperaturas acima do nível térmico de brotação ou floração, durante os meses de inverno seguidos de baixas temperaturas (3, 9). A intensidade do frio invernal poderia ser estudada somente com as temperaturas mínimas absolutas anuais do ar. Porém, devido a variabilidade da época de ocorrência, na parte meridional da América do Sul, é comum registrarem-se temperaturas prejudiciais aos cultivos no fim do outono e no início da primavera (2, 4, 9). ESTEFANEL et alii (6) verificaram que, no Rio Grande do Sul, as temperaturas mínimas absolutas do ar são mais perigosas devido a sua época de ocorrência do que pela sua intensidade.

A determinação das probabilidades das datas de ocorrência das temperaturas mínimas do ar prejudiciais e da duração da estação de cultivo, permitem prever o risco a que está sujeito uma cultura em função deste elemento climático e, conhecido este risco pode-se delimitar as regiões favoráveis, escolher cultivares e épocas de semeadura mais adequadas. A estação de cultivo, conforme THOM (11) e utilizada neste trabalho, é o número de dias entre a data da última temperatura mínima do ar prejudicial da primavera e a data da primeira temperatura mínima do ar prejudicial do outono.

THOM (11) verificou que a distribuição das datas de ocorrência das primeiras temperaturas de outono e das últimas temperaturas mínimas do ar da primavera, considerando somente os anos que estas temperaturas ocorrem, seguem a distribuição normal. Este fato foi utilizado por este autor para determinar as probabilidades das datas de ocorrência destas temperaturas. AMARAL et alii (1), transformando os dados para usar a distribuição normal, calcularam a média das temperaturas mínimas e as mínimas absolutas do ar por pântadas possíveis de ocorrer a diversos

níveis de probabilidade para Pelotas, RS. Em trabalho similar, KISH et alii (8) determinaram a probabilidade da duração da estação de cultivo para o Estado da Carolina do Sul, E.U.A.

Este trabalho objetiva determinar a probabilidade das datas de ocorrência das primeiras temperaturas mínimas do ar do ano e das últimas temperaturas mínimas do ar do ano menores ou iguais (\leq) a -1° , 0° , 1°C , 2°C , 3°C , 4°C , 5°C , 6°C , 7°C , 8°C e 9°C e das durações das respectivas estações de cultivo para Santa Maria, RS.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os dados de temperaturas mínimas diárias do registradas, durante o período de 1912 a 1967, na Estação Climatológica Principal pertencente ao 89 Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia localizada na cidade de Santa Maria (latitude $29^{\circ}41'S$, longitude $53^{\circ}48'W$ e altitude 138m). Foram eliminados os dados registrados nos anos de 1948, 1949, 1961 e 1962 por apresentarem um grande número de falhas de registro dos dados de temperatura das primeiras e últimas temperaturas mínimas do ar menor ou igual ao valor escolhido. Nos anos de 1912, 1952, 1959, 1963, 1964 e 1967, estas falhas de registro somente ocorreram durante a época de ocorrência das últimas temperaturas mínimas do ar menor ou igual ao valor escolhido (TU), o que permitiu o uso destes dados apenas na determinação da data provável de ocorrência das primeiras temperaturas mínimas do ar menor ou igual ao valor escolhido (TP).

Em cada ano obteve-se a data de ocorrência da TP e TU \leq que -1 , 0 , 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 , 8 e 9°C . Adotou-se o limite de $9,0^{\circ}\text{C}$ devido que a temperatura mínima de crescimento de um grande número de cultivos anuais de verão é 10°C e que como a temperatura mínima do ar de 10°C ocorre em todos os meses da maioria dos anos, não se pode determinar a data provável de ocorrência da TU e da TP $\leq 10^{\circ}\text{C}$.

Como as datas do calendário não são adequadas para efetuar cálculos, realizou-se a codificação a partir de uma data base para se obter uma variável própria. A data base escolhida foi o dia 19 de Março, a fim de evitar problemas com os anos bissextos. Desta maneira, por exemplo, uma temperatura mínima do ar ocorrida em 25 de Março recebeu o código 25, uma temperatura mínima do ar ocorrida em 19 de Abril recebeu o código 32 e assim sucessivamente.

Na determinação das probabilidades da data de ocorrência das TP e TU utilizou-se um modelo matemático formado pela combinação de duas

distribuições (11), uma com variável discreta que indica se a TP ou TU ocorre ou não no ano e uma variável aleatória contínua que se refere a data de ocorrência da TP ou TU. A probabilidade de ocorrência da TP na data D antes foi obtida com a expressão 1.

$$P(X \leq D) = p \int_{-\infty}^D F_1(x) dx \quad (1)$$

Onde: $p(X \leq D)$ = probabilidade de ocorrência da TP na data D ou antes;

p = probabilidade de que TP ocorra no ano;

$F_1(X)$ = função densidade da distribuição das datas de ocorrência das TP nos anos em que ocorreram.

A probabilidade de ocorrência da TU na data D ou depois foi obtida com a expressão 2.

$$P(X \geq D) = 1 - p \int_{-\infty}^D F_2(x) dx \quad (2)$$

Onde: $P(X \geq D)$ = probabilidade de ocorrência da TU na data D ou depois;

p = probabilidade de que TP ocorra no ano;

$F_2(X)$ = função densidade de distribuição das datas de ocorrências das TU nos anos em que ocorreram.

As probabilidades empíricas de ocorrência da TP e TU foram determinadas com as expressões 3 e 4, respectivamente.

$$P(X \leq D) = \frac{m}{1 + n} \quad (3)$$

$$P(X \geq D) = 1 - \frac{m}{n + 1} \quad (4)$$

Onde: m = número de ordem da data D das TP e das TU nos anos em que ocorreram;

n = número de anos em que ocorreu a TP e a TU.

Para verificar se as TP e TU se ajustam a distribuição normal, aplicou-se o teste de Lilliefors (5), testando-se a hipótese básica $F_0 = F_N$ contra a hipótese alternativa $F_0 \neq F_N$, onde F_0 é a frequência observada (empírica) e F_N é a frequência calculada com base na distribuição normal.

A duração da estação de cultivo, número de dias entre a TU e a TP, foi determinada para as temperaturas mínimas do ar \leq -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9°C. Também aplicou-se o teste de Lilliefors (5) para verificar a aderência da duração da estação de cultivo e curva normal.

Vinte modelos de regressão polinomiais, exponenciais e logarítmicos foram testados com o objetivo de obter equações que estimassem a data provável de ocorrência da TP e TU e a duração da estação de cultivo em função da temperatura e da probabilidade desejada. Na comparação entre os modelos utilizou-se o coeficiente de determinação (R^2) e a análise dos resíduos ($y - \hat{y}$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores das probabilidades de ocorrência, média e desvio padrão da data de ocorrência das TP e TU \leq a -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9°C e das respectivas durações das estações de cultivo. Verifica-se que temperaturas mínimas do ar \leq a 3°C não ocorrem todos os anos, decrescendo a percentagem quanto mais baixo o nível térmico considerado. Dos 52 anos para TP e 46 anos para TU analisados, 100% dos anos apresentam TP e TU \leq a 9, 8, 7, 6, 5 e 4°C; 98% \leq a 2 e 3°C; 86% \leq 1°C; 60% \leq 0,0°C e somente 33% \leq a -1°C. Comportamento similar também foi observado, para Santa Maria, RS, por BURIOL (4).

A análise das médias das datas de ocorrências da TP e TU evidencia que as temperaturas decrescem mais abruptamente no outono do que se elevam na primavera. Decorrem, em média, 82 dias entre a ocorrência da TP \leq 9°C e a TP \leq -1°C, enquanto que este intervalo entre a TU \leq -1°C e a TU \leq 9°C é de 123 dias.

Quanto à dispersão, verifica-se que é acentuada para todos os níveis térmicos, principalmente, para os níveis de 0, 1, 2 e 3°C, com desvio padrão superior a 20 dias tanto para TP como para TU. Resultados similares obtidos por BURIOL (4) mostram que existe afastamento da data de ocorrência de temperaturas \leq a 10, 5 e 3°C de até 40 dias antes da data média no caso das TP e, com as TU, as temperaturas referentes aos níveis \leq 5°C e \leq 10°C podem registrar-se até 50 dias depois da data média. Estes aspectos evidenciam a elevada variabilidade das datas médias das TP e TU, concordam com ESTEFANEL et alii (6) que verificaram que, no Rio Grande do Sul, as temperaturas mínimas absolutas do ar são mais perigosas devido a sua época de ocorrência do que pela sua intensidade e requerem a determinação das probabilidades das datas de ocorrência das TP e TU prejudiciais com a finalidade de conhecer o risco que

TABELA 1. Probabilidade de ocorrer no ano (p), média (\bar{x}) e desvio padrão (s) da data de ocorrência das primeiras e das últimas temperaturas mínimas do ar e da duração da estação de cultivo para Santa Maria, RS, com base no período 1912-1967.

Tempe- raturas (°C)	Primeiras temperaturas			Últimas temperaturas			Estação de cultivo		
	p	\bar{x}	s	p	\bar{x}	s	p	\bar{x}	s
-1	0,33	02/07	13,4	0,33	11/07	13,0	1	362,6	11,3
0	0,60	03/07	20,1	0,61	15/07	21,2	1	356,8	20,5
1	0,86	30/06	23,2	0,85	28/07	17,9	1	339,4	27,8
2	0,98	21/06	21,3	0,98	05/08	20,9	1	321,2	30,2
3	0,98	09/06	23,7	0,98	15/08	21,6	1	299,2	33,1
4	1,00	28/05	18,6	1,00	01/09	22,6	1	268,5	32,6
5	1,00	22/05	17,4	1,00	12/09	19,2	1	249,4	28,6
6	1,00	13/05	19,7	1,00	29/09	19,3	1	227,0	30,2
7	1,00	01/05	18,2	1,00	14/10	19,6	1	202,5	28,3
8	1,00	25/04	14,9	1,00	26/10	18,3	1	183,5	24,0
9	1,00	13/04	16,4	1,00	11/11	18,5	1	153,5	24,8

os cultivos agrícolas estão sujeitos.

Os valores de duração da estação de cultivo (Tabela 1) também possuem uma elevada variabilidade e decrescem com o aumento do nível térmico escolhido.

Na determinação da duração da estação de cultivo ocorreram situações em que a TU aconteceu em data anterior a TP do ano seguinte, resultando numa estação de cultivo maior que um ano (365 dias). Nos anos que não houve temperaturas mínimas do ar menor ou igual ao nível térmico escolhido, estabeleceu-se a data de 13/07 como início da nova estação de cultivo. Esta data foi escolhida porque, conforme Figura 1, é a data que melhor discrimina as TP das TU.

THOM (11) considerou 1º de janeiro como data limite entre o outono e a primavera o que correspondeu a 1º de julho no hemisfério sul. Aplicando-se este conceito para Santa Maria verificou-se que, para as temperaturas mínimas do ar de até 5°C, em alguns casos, as TP ocorreram após 01/07 e, em outros anos, as TU ocorreram antes desta data. Este fato é bem claro na Figura 1, que apresenta a superposição das TP $\leq 2^\circ\text{C}$

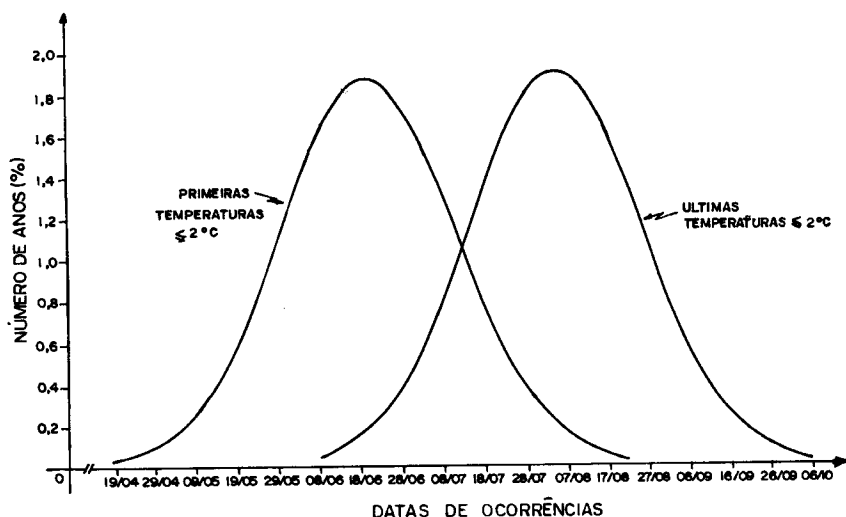


FIGURA 1. Distribuição teórica das primeiras e das últimas temperaturas mínimas do ar iguais ou inferiores a 2°C para Santa Maria, RS, com base no período 1912-1967.

com as $TU \leq 2^{\circ}\text{C}$. Quando ocorria uma TP após 01/07 ou uma TU antes desta data limite e se considerou a mesma como não ocorrida no ano (11), verificou-se que houve um truncamento no polígono de frequência e um afastamento da distribuição normal. Por esta razão, não se considerou a data limite de 01/07 para TP e TU e somente computou-se como não ocorrida se realmente não tivessem ocorridas no ano.

Analisando-se a Figura 2 verifica-se que existe uma boa concordância entre as possibilidades empíricas das datas de ocorrência e as probabilidades teóricas baseadas na distribuição normal. A aplicação do teste de Lilliefors mostrou que ao nível de significância $\alpha = 0,20$, o mais alto existente na Tabela usada, somente rejeitou-se a hipótese $F_0 = F_N$ para as TP iguais ou inferiores a 4°C e 6°C . Para o nível de significância $\alpha = 0,15$ a hipótese $F_0 = F_N$ não foi rejeitada para nenhuma situação. Estes resultados indicam que existe uma razoável adereência das TP e TU à distribuição normal, o que permite estudar estas datas como sendo variáveis normalmente distribuídas.

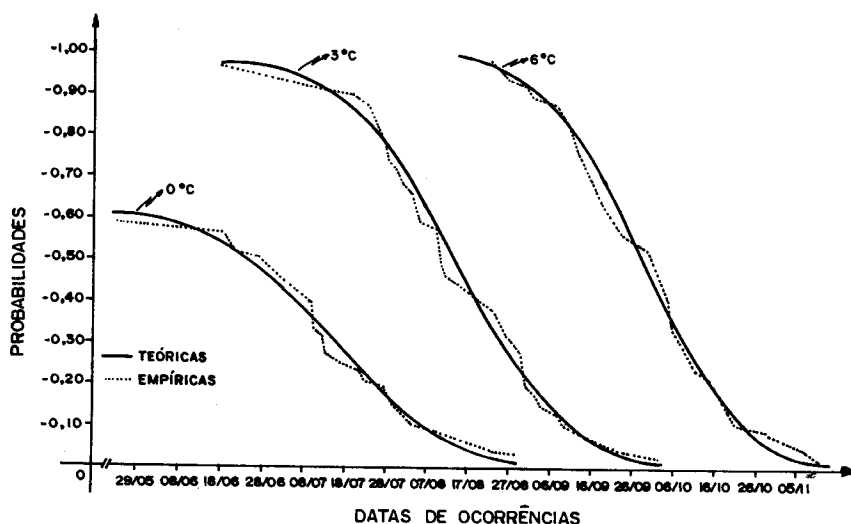


FIGURA 2. Probabilidades empíricas e teóricas da data de ocorrência das últimas temperaturas mínimas do ar iguais ou inferiores a 0°C, 3°C e 6°C para Santa Maria, RS, com base no período de 1912-1967.

As probabilidades das datas de ocorrência das TP e TU \leq a -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9°C encontram-se nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. Na Tabela 2, por exemplo, encontram-se para TP \leq 3°C e P = 0,20 a data de 20/05, o que significa que em 20% dos anos, 1 em cada 5 anos, esta temperatura ocorrerá nesta data ou antes. Em 80% dos anos, 4 em cada 5 anos, a TP \leq 3°C ocorrerá depois de 20/05 ou nem ocorrerá, pois, a probabilidade desta temperatura ocorrer no ano é de 0,98 (Tabela 1). Na Tabela 3 para TU \leq 3°C e P = 0,25 obtêm-se a data de 29/08, o que significa que em 25% dos anos, 1 em cada 4 anos, esta temperatura ocorrerá nesta data ou após. Em 75% dos anos, 3 em cada 4 anos, este evento ocorrerá antes de 29/08 ou nem ocorrerá já que este nível térmico não ocorre em todos os anos, conforme se observa na Tabela 1.

Para melhor utilização das Tabelas 2 e 3 é necessário esclarecer que na sua elaboração, utilizaram-se valores de temperaturas medidas no abrigo meteorológico, a uma altura de 1,5m da superfície do solo, e que normalmente as temperaturas mínimas do ar, deste nível, são mais elevadas do que aquelas que ocorrem em níveis mais próximos da superfície do solo. HELDWEIN et alii (7) constataram que, em Santa Maria, as temperaturas mínimas do ar obtidas no abrigo meteorológico são, em média,

TABELA 2. Probabilidades da data de ocorrência das primeiras temperaturas mínimas do ar compreendidas no intervalo de -1 a 90C para Santa Maria, RS, com base no período de 1912-1967. (Temperaturas menores ou iguais àquelas mostradas no cabeçalho têm a probabilidade indicada à esquerda de acontecer até a data indicada no corpo da tabela)

Probabilidades	Níveis térmicos \leq										
	-10C	00C	10C	20C	30C	40C	50C	60C	70C	80C	90C
0,05	19/06	05/06	24/05	16/05	01/05	27/04	22/04	11/04	02/04	31/03	18/03
0,10	26/06	14/06	02/06	24/05	10/05	04/05	29/04	18/04	08/04	06/04	24/03
0,15	01/07	19/06	08/06	30/05	16/05	09/05	03/05	23/04	13/04	09/04	28/03
0,20	06/07	24/06	13/06	03/06	20/05	12/05	06/05	27/04	16/04	12/04	31/03
0,25	12/07	29/06	17/06	06/06	24/05	15/05	09/05	30/04	19/04	15/04	02/04
0,30	21/07	03/07	21/06	10/06	08/05	18/05	12/05	03/05	22/04	17/04	05/04
0,35	-	07/07	24/06	13/06	31/05	21/05	15/05	06/05	24/04	19/04	07/04
0,40	-	12/07	28/06	16/06	03/06	23/05	17/05	08/05	27/04	21/04	09/04
0,45	-	17/07	01/07	19/06	06/06	26/05	19/05	11/05	29/04	23/04	12/04
0,50	-	23/07	05/07	21/06	10/06	28/05	22/05	13/05	01/05	25/04	14/04
0,55	-	31/07	08/07	24/06	13/06	30/05	24/05	16/05	04/05	27/04	16/04
0,60	-	-	12/07	27/06	16/06	02/06	26/05	18/05	06/05	29/04	18/04
0,65	-	-	16/07	30/06	19/06	04/06	28/05	21/05	08/05	01/05	20/04
0,70	-	-	20/07	03/07	22/06	07/06	31/05	24/05	11/05	03/05	22/04
0,75	-	-	26/07	06/07	26/06	10/06	03/06	27/05	14/05	05/05	25/04
0,80	-	-	02/08	10/07	30/06	13/06	06/06	30/05	17/05	08/05	27/04
0,85	-	-	18/08	15/07	05/07	16/06	09/06	03/06	20/05	11/05	30/04
0,90	-	-	-	21/07	12/07	21/06	14/06	08/06	25/05	14/05	04/05
0,95	-	-	-	31/07	23/07	28/06	20/06	15/06	31/05	20/05	10/05

TABELA 3. Probabilidades da data de ocorrência das últimas temperaturas mínimas do ar compreendidas no intervalo de -1 a 90°C para Santa Maria, RS, com base no período de 1912-1967. (Temperaturas menores ou iguais às mostradas no cabeçalho tem a probabilidade indicada à esquerda de acontecer na data indicada no corpo da tabela ou após essa data)

Probabilidades	Níveis térmicos \leq											
	-10°C	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C	
0,05	24/07	14/08	25/08	08/09	19/09	08/10	14/10	31/10	15/11	25/11	12/12	
0,10	18/07	05/08	18/08	31/08	11/09	30/09	07/10	24/10	08/11	18/11	05/12	
0,15	12/07	30/07	13/08	26/08	06/09	24/09	02/10	19/10	03/11	13/11	30/11	
0,20	07/07	25/07	10/08	22/08	02/09	20/09	28/09	15/10	30/10	10/11	27/11	
0,25	02/07	20/07	06/08	19/08	29/08	16/09	25/09	12/10	27/10	07/11	24/11	
0,30	23/06	16/07	03/08	15/08	26/08	13/09	22/09	09/10	24/10	04/11	21/11	
0,35	-	11/07	01/08	13/08	23/08	09/09	20/09	06/10	21/10	02/11	18/11	
0,40	-	07/07	29/07	10/08	20/08*	06/09	17/09	04/10	19/10	30/10	16/11	
0,45	-	02/07	26/07	07/08	17/08	04/09	15/09	01/10	16/10	28/10	14/11	
0,50	-	26/06	24/07	04/08	14/08	01/09	12/09	29/09	14/10	25/10	11/11	
0,55	-	18/06	21/07	02/08	12/08	29/08	10/09	27/09	11/10	23/10	09/11	
0,60	-	30/05	18/07	30/07	09/08	26/08	07/09	24/09	09/10	21/10	07/11	
0,65	-	-	15/07	27/07	06/08	23/08	05/09	22/09	06/10	18/10	04/11	
0,70	-	-	11/07	24/07	23/08	20/08	02/09	19/09	03/10	16/10	02/11	
0,75	-	-	06/07	21/07	30/07	17/08	30/08	16/09	30/09	13/10	30/10	
0,80	-	-	29/06	17/07	26/07	13/08	27/08	13/09	27/09	10/10	27/10	
0,85	-	-	-	12/07	22/07	08/08	23/08	09/09	23/09	07/10	23/10	
0,90	-	-	-	06/07	16/07	03/08	19/08	04/09	18/09	02/10	18/10	
0,95	-	-	-	26/06	05/07	25/07	12/08	28/08	11/09	25/09	12/10	

2,8°C e 1,9°C mais elevadas do que aquelas obtidas a 5cm das superfícies de solo relvado e desnudo, respectivamente. Também verificaram que estas diferenças são maiores em dias posteriores a noites propícias a formação de geadas de radiação, quando ocorre o fenômeno da inversão térmica com maior intensidade. Pode-se, portanto, para as TP e TU adotar uma correção de 4°C e 3°C, quando se trabalha com solo relvado e desnudo, respectivamente.

Considerando as probabilidades da Tabela 3 e a diferença entre a temperatura mínima do ar do abrigo e do nível próximo a superfície do solo, deduz-se que se um agricultor semear a cultura do feijoeiro que não tolera temperaturas $\leq 0^{\circ}\text{C}$ e se a emergência ocorrer antes de 29/08, haverá 25% de possibilidade de sua cultura ser prejudicada pela temperatura baixa. Nesta situação utilizou-se a correção de 3°C, pois, numa lavoura em fase de emergência o solo é praticamente desnudo.

A Tabela 4 apresenta as possibilidades de duração da estação cultivada para níveis térmicos $\leq 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ e 9°C . Ao aplicar o teste de Lilliefors para verificar a aderência das durações da estação de cultivo à curva normal, rejeitou-se a hipótese $F_0 = F_N$, ao nível $\alpha = 0,05$ para as temperaturas ≤ -1 e 0°C , pois estas não ocorreram em muitos anos. Utilizou-se, então a data de 13/07 como início da nova estação de cultivo, resultando no afastamento destas séries, da curva normal.

Na Tabela 4 encontra-se para uma temperatura mínima do ar $\leq 2^{\circ}\text{C}$ e $P = 0,20$, uma duração da estação de cultivo de 296 dias, o que significa que em 20% dos anos, 1 em cada 5 anos, teremos uma duração igual ou inferior a 296 dias. Em 80% dos anos, 4 em cada 5 anos, teremos uma estação de cultivo com 296 dias ou mais sem temperaturas mínimas do ar $\leq 2^{\circ}\text{C}$. Para o planejamento agrícola de regiões como Santa Maria, RS onde existe grande variabilidade da data de ocorrência das temperaturas mínimas do ar é necessário além do conhecimento das probabilidades das durações das estações de cultivo as probabilidades das datas de ocorrência das TP e TU.

Dentre os vinte modelos de regressão polinomiais, exponenciais e logarítmicos testados elegeu-se o modelo exponencial da equação 5 como sendo o que melhor estima as datas prováveis de ocorrência das TP e TU e da duração da estação de cultivo. Para utilizar o modelo, cujos coeficientes encontram-se na Tabela 5, é necessário escolher apenas o nível de probabilidade e a temperatura desejada.

$$Y = b_0 \cdot b_1^T \cdot b_2^{T^2} \cdot b_3^{P/p} \cdot b_4^{T(P/p)} \quad (5)$$

TABELA 4. Probabilidades da duração da estação de cultivo para níveis de temperatura compreendidos no intervalo de 1 a 9°C para Santa Maria, RS, com base no período de 1912-1967.

Probabilidades	Níveis térmicos \leq								
	1°C	2°C	3°C	4°C	5°C	6°C	7°C	8°C	9°C
0,05	294	271	245	215	202	177	156	144	113
0,10	304	282	257	227	212	188	166	153	122
0,15	311	290	265	235	220	196	173	159	128
0,20	316	296	271	241	225	202	179	163	133
0,25	321	301	277	247	230	207	183	167	137
0,30	325	305	282	251	234	211	188	171	140
0,35	329	310	286	256	238	215	192	174	144
0,40	332	314	291	260	242	219	195	177	147
0,55	339	321	299	269	249	227	202	183	153
0,60	343	325	303	273	253	231	206	186	157
0,65	350	333	312	281	260	239	213	193	163
0,70	354	337	317	286	265	243	217	196	166
0,75	358	342	321	291	269	247	222	200	170
0,80	363	347	327	296	274	252	226	204	174
0,85	368	353	333	303	279	258	232	208	179
0,90	375	360	342	310	286	266	239	214	185
0,95	385	371	354	322	297	277	249	223	194

Onde: \bar{y} = data esperada de ocorrência das TP e TU codificada a partir de 01/03 ou a duração da estação de cultivo;

b_0, b_1, b_2, b_3 e b_4 = coeficientes da equação válidos para Santa Maria, RS (Tabela 5);

T = nível térmico desejado que deve ser de $-1^{\circ}\text{C} \leq T \leq 9^{\circ}\text{C}$ para as TP e TU e $1^{\circ}\text{C} \leq T \leq 9^{\circ}\text{C}$ para a duração da estação de cultivo;

P = nível de probabilidade desejado;

p = probabilidade de ocorrência da temperatura desejada no ano (Tabela 1). Para a duração da estação de cultivo, o p é igual 1. Deve-se observar que $0,05 \leq P/p \leq 0,95$.

O estudo dos resíduos não permite afirmar que este modelo expressa o comportamento das variáveis estudadas, embora possam ser utilizados para estimá-las. Apesar dos coeficientes de determinação (R^2) serem altos existem diferenças de mais de 10 dias entre as datas estima-

das pelo modelo matemático da equação 5 e as datas obtidas com a probabilidade empírica, mas são casos pouco frequentes. Diferenças da mesma magnitude também são observadas entre as datas estimadas com a curva normal e as datas obtidas pelo modelo empírico. Pode-se, então, utilizar tanto o modelo de regressão exponencial como a curva normal na estimativa das probabilidades das datas de ocorrência das TP e TU e das durações da estação de cultivo. Para fins computacionais torna-se vantajoso o uso do modelo de regressão.

TABELA 5. Coeficientes da equação de regressão exponencial para estimar a data de ocorrência das primeiras e últimas temperaturas mínimas do ar e da duração da estação de cultivo para Santa Maria, RS, com base no período de 1912 - 1967.

Coeficientes	Primeiras Temperaturas	Últimas Temperaturas	Estação de Cultivo
b_0	97,739815	170,19157	316,36051
b_1	0,9249178	1,0621515	0,9406897
b_2	0,9922590	0,9998957	0,9948982
b_3	1,5843927	0,6587520	1,2631414
b_4	1,0671910	1,0201959	1,0303060
R^2	0,984	0,990	0,993

CONCLUSÕES

1. As datas de ocorrência das primeiras e das últimas temperaturas mínimas do ar no intervalo de -1°C e 9°C ajustam-se à distribuição normal.

2. As durações das estações de cultivo para temperaturas mínimas no intervalo de 1°C a 9°C ajustam-se à distribuição normal.

3. As datas de ocorrência das primeiras e últimas temperaturas mínimas do ar e a duração da estação de cultivo, para vários níveis térmicos e de probabilidade, são obtidas a partir da curva da distribuição normal e também com o modelo de regressão exponencial do tipo $\hat{y} = b_0 \cdot b_1^T \cdot b_2^{T^2} \cdot b_3^{P/P} \cdot b_4^{T(P/P)}$.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Meteorologia - 89 DISME, que franqueou os dados meteorológicos, e ao Prof. Dr. Claudio Lovato, do Departamento de Fitotecnia da UFSM, pela versão inglesa do resumo.

LITERATURA CITADA

01. AMARAL, E.; SILVA, J.B. & BASSOLS, M. do C. *Tabelas de probabilidades da temperatura mínima em Pelotas, RS (média das mínimas e mínimas absolutas)*. Pelotas, Cadeira de Matemática da Universidade Federal de Pelotas, 1972. 13p. (Mimeografado)
02. BURGOS, J.J. *Las heladas en la Argentina*. Buenos Aires, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária, 1963. 388p.
03. BURIOL, G.A.; FERREIRA, M. & ESTEFANEL, V. Variabilidade das temperaturas médias mensais do ar no Estado do Rio Grande do Sul. *Rev. do Centro Ci. Rurais, Santa Maria*, 4(3):271-94, 1974.
04. BURIOL, G.A. Intensidade das temperaturas mínimas e datas de ocorrência de níveis térmicos prejudiciais aos cultivos. *Rev. Centro Ci. Rurais, Santa Maria*, 6(1):27-42, 1976.
05. CAMPOS, H. de. *Estatística experimental não-paramétrica*. 2.ed., Piracicaba, ESALQ/USP, 1976. 332p.
06. ESTEFANEL, V.; BURIOL, G.A.; SACCOL, A.V. & ROMANI, L.B. Variabilidade e probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas do ar no Estado do Rio Grande do Sul. *Rev. do Centro Ci. Rurais, Santa Maria*, 8(4):363-84, 1978.
07. HELDWEIN, A.B.; ESTEFANEL, V.; MANFRON, P.A.; SACCOL, A.V.; BURIOL, G.A. & SCHNEIDER, F.M. Análise das temperaturas mínimas do ar registradas em Santa Maria, RS. I - Estimativas das temperaturas mínimas do ar a 5cm da superfície do solo relvado e do solo desnudo. *Rev. do Centro Ci. Rurais*, 18(1): - , 1988.
08. KISH, A.J.; WILEY, W.H. & PURVIS, J.C. *Length of the growing season in south Carolina*. Clemson, United States Department of Commerce - Environmental Science Services Administration e Weather Bureau, 1967. 24p. (Agricultural Weather Research Series, 13).
09. MOTA, F.S. da. *A cultura do pessegueiro e o clima de Pelotas. Principais problemas e possíveis soluções*. Pelotas, Instituto Agrônomo do Sul, 1956. 18p. (Circular, 6).
10. MOTA, F.S. da. *Geadas de primavera no Rio Grande do Sul*. Pelotas, Instituto Agrônomo do Sul, 1961. 15p. (Circular, 17).
11. THOM, H.C.S. The distributions of freeze-date and freeze-free period for climatological series with freezeless years. *Monthly Weather Review*, 87(4):136-144, 1959.