

CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE MILHO (*Zea mays* L.)

INFLUENCIADO PELA TEMPERATURA

Antonio A. Lucchesi¹
Cássio R. de M. Godoi²
Lilian C. Anéfalos³

INTRODUÇÃO

Dos fatores ambientais, um que afeta praticamente todos os processos fisiológicos nos vegetais é a temperatura. Afeta a germinação, a respiração, a transpiração, a atividade fotossintética, as atividades enzimáticas, a permeabilidade das paredes e membranas celulares, a absorção de água e de nutrientes, a velocidade das reações químicas nos vegetais e, portanto, influi sobre todos os processos metabólicos.

Existe uma faixa de temperatura favorável ao crescimento vegetal, a qual pode ser diferente para cada órgão ou fase de desenvolvimento da planta. Os estudos nesse sentido mostram que existem a **temperatura mínima** (limitante inferior para a realização do crescimento); a **temperatura máxima** (limitante superior para a realização do processo) e a **temperatura ótima** (nível apropriado para o crescimento de máxima intensidade).

O aumento da temperatura até um determinado ponto deve acelerar os processos, mas, a partir dele, em função da fase de crescimento e da espécie, deve afetar sensivelmente o metabolismo vegetal como um todo, induzindo desnaturação de proteínas, inativação do material enzimático e desidratação de células. Influi, dessa forma, na seqüência normal do crescimento e pode, inclusive, tornar-se letal ao vegetal.

¹ Departamento de Botânica, ESALQ/USP, Piracicaba-SP.

² Departamento de Matemática e Estatística, ESALQ/USP, Piracicaba-SP.

³ Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo.

No presente experimento, procurou-se avaliar o efeito de diferentes temperaturas sobre a fase inicial do crescimento de plântulas de milho (*Zea mays* L.) cv. HMD.

REVISÃO DE LITERATURA

O crescimento dos vegetais é consequência da expansão celular, abrange a síntese dos constituintes da parede celular e de proteínas citoplasmáticas, bem como o aumento do conteúdo hídrico. Esse crescimento é sensível à variação da temperatura (SUTCLIFFE, 1977). A expansão celular não é ilimitada e depende da produção de novas células por divisão. A temperatura afeta a mitose e a citocinese. Em feijão fava (*Vicia faba* L.), na região meristemática da raiz, esses processos tornam-se lentos à temperatura de 3°C, e rápidos a 25°C (SUTCLIFFE, 1977).

BROWN (1953) estuda a taxa de divisão celular e a duração de cada fase do ciclo mitótico em raiz de ervilha, sob a influência de diferentes temperaturas. Observa que todos os estágios foram afetados. Houve influência na taxa de divisão nos meristemas e na produção da folha primordial.

Segundo Cooper (1975), citado por SUTCLIFFE (1977), o efeito de diferentes temperaturas na raiz influi no número de folhas do vegetal. Trabalhando com fumo (*Nicotiana tabacum* L. cv. Hicks), observa que, em 6 semanas de estudo, em tre as temperaturas induzidas à raiz, com 10°C, há a emissão de aproximadamente 9 folhas; já a 20°C, perto de 15 folhas e, a 30°C, praticamente o mesmo número.

Trabalhos de TOOLE (1973), POLLOCK (1974), FENNER (1985) e BEWLWY & BLACK (1985) demonstram a influência da temperatura na germinação e na dormência de sementes, no início do crescimento e no desenvolvimento das estruturas das plântulas, variando conforme a espécie. O processo da germinação inicia-se com o ressurgimento das atividades paralisadas por ocasião da maturação da semente, começando com o suprimento de água e terminando quando da emissão da radícula através do tegumento (CARVALHO & NAKAGAWA, 1988). Do ponto de vista da Tecnologia de Sementes, considera-se

final da germinação o instante da formação da plântula completa e em condições de desenvolver-se autotroficamente. Segundo esses autores, o processo de germinação é uma sequência extremamente complexa de reações bioquímicas, através das quais substâncias de reserva, armazenadas no tecido de sustentação, são desdobradas, transportadas e ressinetizadas no eixo embrionário. A germinação será tanto mais rápida e o processo mais eficiente quanto maior for a temperatura, mas, até certo limite. A temperatura considerada ótima para a maioria das espécies encontra-se entre 15°C e 30°C; a máxima varia em torno de 35°C e 40°C, enquanto a mínima, para algumas espécies, aproxima-se do ponto de congelamento, principalmente para espécies nativas de regiões frias.

WATTS (1972) e RUSSELL (1977) observam que variações de temperatura influem diretamente no crescimento do sistema radicular e afetam as atividades nos meristemas apicais das plantas. A variação de temperatura pode induzir efeitos significativos não só no crescimento, mas também na absorção de água e nutrientes (RUSSELL, 1977). WALKER (1969) comenta que um grau Celsius de mudança na temperatura do solo pode induzir modificações significativas no crescimento e na absorção de nutrientes em milho. Ao ser avaliado o efeito da temperatura na estrutura e no material de reserva das sementes, convém atentar para a composição desse material nutritivo.

BRYANT (1989), cita que a maioria das sementes contém apreciáveis quantidades de reservas de nutrientes que, em diferentes espécies, podem incluir carboidratos, proteínas, lipídeos, aminoácidos, ésteres de fosfato orgânico e minerais. A maior parte das reservas é geralmente armazenada nos cotilédones ou exteriormente ao embrião, no endosperma. Parte das reservas também é depositada nas regiões de crescimento do embrião. A maior parte das reservas é constituída por polímeros como proteínas, polissacarídeos e lipídeos, que devem ser hidrolisados em moléculas menores, facilmente transportáveis. A mobilização de reservas de alimento processa-se por grande aumento da atividade das enzimas hidrolíticas. Dentre elas as de grande importância

são a amilopectina 1-6-glicosidase (que degrada o amido) e a ribonuclease (que hidrolisa RNA). Algumas enzimas hidrolíticas são secretadas por uma camada de aleurona situada ao redor do endosperma, e resultam na quebra dos polímeros armazenados em moléculas menores. Estas são absorvidas, via célula de transferência do escutelo (cotilédone), para, então, serem transportadas para as regiões de crescimento do embrião. Em cevada, o embrião secreta ácido giberélico, que estimula a produção de enzimas hidrolíticas na camada de aleurona; as enzimas passam a ser secretadas no endosperma e os produtos da hidrólise são absorvidos pelo embrião.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento, conduzido no Laboratório de Fisiologia Vegetal do Departamento de Botânica, da E.S.A. Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba-SP, utilizou sementes de milho (*Zea mays* L.) cv. HMD, produzidas no Departamento de Agricultura dessa mesma Escola. Os tratamentos (níveis de temperaturas) foram: 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C e 35°C, em câmaras de crescimento e estufas com controle de temperatura. As sementes se colocaram em placas de Petri forradas com papel de filtro, sobre fina camada de algodão e umedecidas com água desmineralizada. Folha de papel alumínio envolveu totalmente as placas de Petri, para evitar o fator luminosidade. A umidade foi mantida durante o experimento.

Cada parcela constou de 100 sementes. Houve 4 repetições por tratamento, inteiramente casualizado. As temperaturas foram mantidas constantes por 6 dias consecutivos, iniciando-se o primeiro dia 48 horas após a colocação das sementes sob os diferentes tratamentos.

Mediram-se diariamente as seguintes variáveis: a) Porcentagem de emissões de radícula e de coleóptile; b) Comprimento (em centímetros) do coleóptile e da radícula. Foi também anotado (aspecto visual) todo vestígio de crescimento anormal nesses órgãos, induzido, por hipótese, pelas diferentes temperaturas testadas.

A metodologia estatística utilizada foi a Análise Multivariada de Perfis (MARDIA *et alii*, 1979; GODOL, 1985). Para tal análise consideraram-se 5 tratamentos: 15°C, 20°C, 30°C e 35°C com 4 repetições. As temperaturas de 5°C e 10°C, provocaram inibição quase total no crescimento inicial, e, portanto, não foram consideradas para efeito de análise estatística.

Para cada parcela, estimam-se, pelo método dos mínimos quadrados, os parâmetros: a constante b_0 , o efeito linear b_1 e o efeito quadrático b_2 , obtendo-se uma análise de variância multivariada com 5 tratamentos (Temperaturas), 4 repetições e 3 variáveis dependentes correlacionadas no tempo.

As hipóteses a testar são:

a) Inexistência de efeitos das temperaturas sobre as curvaturas dos perfis temporais. Matematicamente:

$$H_0: \quad b_{2.1} = b_{2.2} = b_{2.3} = b_{2.4} = b_{2.5}$$

b) Inexistência de efeitos das temperaturas sobre o paralelismo dos perfis temporais. Matematicamente:

$$H_0: \quad b_{1.1} = b_{1.2} = b_{1.3} = b_{1.4} = b_{1.5}$$

$$H_0: \quad b_{2.1} = b_{2.2} = b_{2.3} = b_{2.4} = b_{2.5}$$

c) Inexistência de efeitos de temperaturas sobre a coincidência dos perfis. Matematicamente:

$$b_{0.1} = b_{0.2} = b_{0.3} = b_{0.4} = b_{0.5}$$

$$H_0: \quad b_{1.1} = b_{1.2} = b_{1.3} = b_{1.4} = b_{1.5}$$

$$b_{2.1} = b_{2.2} = b_{2.3} = b_{2.4} = b_{2.5}$$

São utilizados os critérios de rejeição de hipóteses de Roy, Wilks, Hotelling-Lawley e Pillai, os mais usados nos aplicativos computacionais estatísticos.

O sistema SISMUL (Sistema de Análise Multidimensio-

nal), desenvolvido no Departamento de Matemática e Estatística da E.S.A. Luiz de Queiroz, da USP, em Piracicaba-SP, foi utilizado na obtenção das estimativas de ponto e de intervalo e nos testes de hipóteses. Os gráficos foram produzidos pela combinação da Planilha QUATTRO e do HARVARD GRAPHICS.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do crescimento inicial, encontram-se nas TABELAS I e II.

Usou-se a Análise Multidimensional de Perfil. Esta análise permite o aproveitamento das correlações dos pares de variáveis tomadas nos dias sucessivos. Nela verificamos a influência das diferentes temperaturas sobre o crescimento inicial da raiz primária da semente e sobre a altura da parte aérea de milho quanto a três hipóteses: **curvatura**, **paralelismo** e **coincidência**. O modelo adotado foi o quadrático pelo bom ajustamento nas condições do experimento (ver Apêndice).

Os resumos das equações encontradas para cada temperatura são apresentadas nas TABELAS III e IV e Figuras 1 e 2.

TABELA I. Comprimento médio (cm), da raiz primária de sementes de milho (*Zea mayz* L.) cv. HMD.

Temperatura (°C)	D I A					
	1º	2º	3º	4º	5º	6º
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,12	0,20	0,63	1,39	1,94	2,70
20	1,19	3,64	5,46	9,36	13,45	14,96
25	1,46	3,96	7,28	10,98	14,96	19,39
30	1,88	5,13	7,74	10,38	12,72	14,23
35	0,38	0,54	0,71	0,74	0,74	0,74

TABELA II. Comprimento médio (cm), do coleóptile, de sementes de milho (*Zea mays* L.) cv. HMD.

Temperatura (°C)	D I A					
	1º	2º	3º	4º	5º	6º
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,14	0,39	0,69	0,98	1,12
20	0,70	1,91	3,42	5,34	7,79	11,94
25	0,58	1,46	3,61	6,34	9,07	13,88
30	1,24	3,07	5,10	6,34	10,02	11,63
35	0,38	0,43	0,46	0,47	0,47	0,47

TABELA III. Estimativas do Modelo Quadrático para o crescimento inicial da raiz primária (cm).

Temperatura (°C)	Equação da Média, Dados × Dias
15	$\bar{Y} = -0,07600 + 0,06955 x + 0,06955 x^2$
20	$\bar{Y} = -1,56550 + 2,45112 x + 0,06742 x^2$
25	$\bar{Y} = -0,91825 + 2,07440 x + 0,21950 x^2$
30	$\bar{Y} = -1,66150 + 3,71095 x - 0,17445 x^2$
35	$\bar{Y} = 0,14675 + 0,25517 x - 0,02647 x^2$

TABELA IV. Estimativas do Modelo Quadrático para a altura da parte aérea (cm).

Temperatura (°C)	Equação da Média, Dados × Dias
15	$\bar{Y} = -0,26175 + 0,22187 x + 0,00247 x^2$
20	$\bar{Y} = 0,67975 - 0,14095 x + 0,32932 x^2$
25	$\bar{Y} = 0,28600 - 0,12232 x + 0,39332 x^2$
30	$\bar{Y} = -0,25125 + 1,42405 x + 0,09870 x^2$
35	$\bar{Y} = 0,32300 + 0,06547 x - 0,00687 x^2$

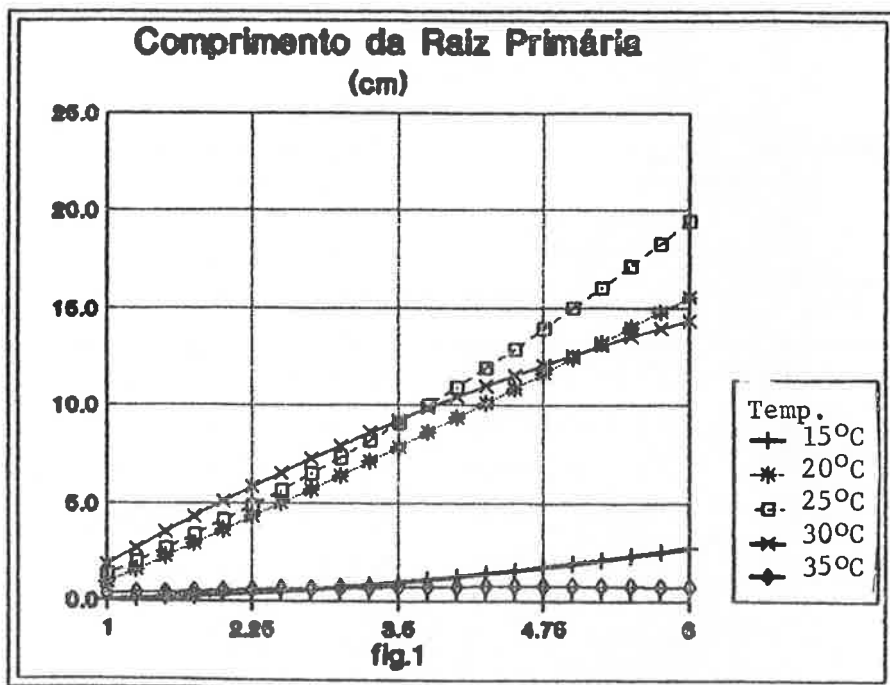


Figura 1. Comprimento da raiz primária (cm).

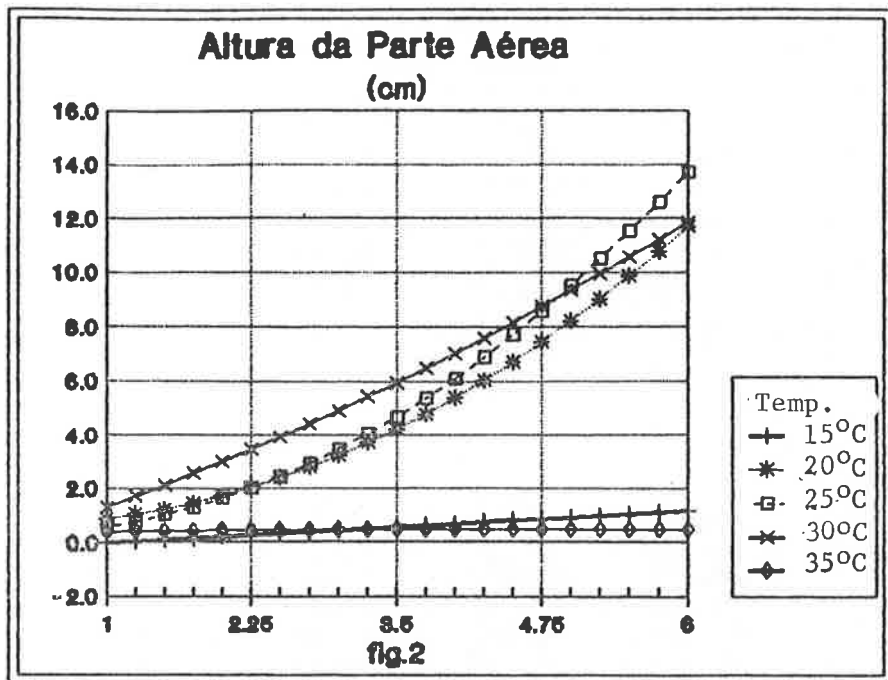


Figura 2. Altura da parte aérea (cm).

Através das TABELAS III e IV, podemos estimar as médias de Y dados \times dias, para cada temperatura, tanto para o comprimento da raiz primária como para altura da parte aérea, respectivamente. As TABELAS V e VI, resumem esses resultados.

A análise diária do crescimento das partes constituintes da semente do milho pode ser resumida pelo exame das TABELAS VII e VIII, onde se vê o efeito da variação da temperatura sobre a emissão da radícula e do coleóptile, respectivamente.

TABELA V. Comprimento da raiz primária (cm), calculado. Estimativas de ponto e de intervalo. Es

°C	Dias	Estimativa	Desvio Padrão	L. Inferior	L. Superior
15	1	0,046	0,167	-0,310	0,402
	2	0,307	0,273	-0,274	0,889
	3	0,708	0,413	-0,173	0,159
	4	1,247	0,555	0,063	2,432
	5	1,926	0,715	0,402	3,450
	6	2,744	0,913	0,798	4,690
20	1	0,953	0,167	0,597	1,309
	2	3,606	0,273	3,024	4,188
	3	6,394	0,413	5,513	7,275
	4	9,318	0,555	8,133	10,502
	5	12,375	0,715	10,851	13,900
	6	15,568	0,913	13,622	17,515
25	1	1,375	0,167	1,019	1,731
	2	4,108	0,273	3,527	4,690
	3	7,280	0,413	6,400	8,161
	4	10,891	0,555	9,707	12,075
	5	14,941	0,715	13,417	16,465
	6	19,430	0,913	17,483	21,377
30	1	1,875	0,167	1,519	2,231
	2	5,063	0,272	4,481	5,644
	3	7,901	0,413	7,020	8,782
	4	10,391	0,555	9,207	11,575
	5	12,532	0,715	11,007	14,056
	6	14,324	0,913	12,377	16,270
35	1	0,375	0,167	0,019	0,732
	2	0,551	0,272	-0,030	1,132
	3	0,674	0,413	-0,207	1,555
	4	0,744	0,555	-0,440	1,928
	5	0,761	0,715	-0,763	2,284
	6	0,725	0,913	-1,222	2,671

TABELA VI. Altura da parte aérea (cm), calculada. Estimativas de ponto e de intervalo.

°C	Dias	Estimativa	Desvio Padrão	L. Inferior	L. Superior
15	1	-0,037	0,131	-0,317	0,242
	2	0,192	0,158	-0,145	0,529
	3	0,427	0,270	-0,148	1,000
	4	0,665	0,430	-0,251	1,581
	5	0,910	0,654	-0,484	2,304
	6	1,158	0,953	-0,873	3,191
20	1	0,869	0,131	0,588	1,148
	2	1,715	0,158	1,378	2,052
	3	3,221	0,270	2,647	3,794
	4	5,385	0,430	4,469	6,301
	5	8,209	0,654	6,813	9,602
	6	11,690	0,953	9,658	13,722
25	1	0,557	0,131	0,277	0,837
	2	1,614	0,158	0,278	1,951
	3	3,459	0,269	2,884	4,033
	4	6,090	0,430	5,173	7,006
	5	9,507	0,654	8,113	10,901
	6	13,711	0,953	11,679	15,744
30	1	1,271	0,131	0,991	1,551
	2	2,992	0,158	2,655	3,328
	3	4,909	0,269	4,335	5,483
	4	7,024	0,430	6,108	7,940
	5	9,336	0,654	7,942	10,731
	6	11,846	0,953	9,814	13,879
35	1	0,382	0,131	0,102	0,661
	2	0,426	0,158	0,089	0,763
	3	0,457	0,269	-0,117	1,032
	4	0,475	0,430	-0,441	1,391
	5	0,478	0,654	-0,916	1,873
	6	0,483	0,953	-1,564	2,501

TABELA VII. Porcentagem de emissão da radícula.

Temperatura (°C)	D I A					
	1º	2º	3º	4º	5º	6º
5	...	...	...	...	10	20
10	...	...	...	50	80	100
15	20	35	60	100	100	100
20	100	100	100	100	100	100
25	100	100	100	100	100	100
30	100	100	100	100	100	100
35	100	100	100	100	100	100

TABELA VIII. Porcentagem de emissão do coleóptile.

Temperatura (°C)	D I A					
	1º	2º	3º	4º	5º	6º
5	...	...	...	...	...	...
10	...	...	...	...	...	20
15	...	30	50	100	100	100
20	100	100	100	100	100	100
25	100	100	100	100	100	100
30	100	100	100	100	100	100
35	100	100	100	100	100	100

À temperatura de 35°C, observa-se o crescimento do coleóptile até o 3º dia. Após, esse aumento torna-se inexpressivo; ademais observa-se contaminação de algumas sementes com fungos.

A influência da temperatura na germinação, na dormência, no início do crescimento e no desenvolvimento das estruturas de plântulas é estudado por TOOLE (1973), POLLOCK (1974), FENNER (1985) e BEWLEY & BLACK (1985).

Temperaturas mais baixas (5°C e 10°C) reduzem o cres-

cimento inicial, principalmente a 5°C, na qual não há crescimento do coleóptile e apenas 10% das sementes induzem crescimento mínimo da radícula. WALKER (1969), trabalhando com milho, demonstra que a temperatura afeta as células da região meristemática da raiz, e também a absorção de água e de nutrientes pelo sistema radicular e, conseqüentemente, o crescimento tanto do sistema radicular como da parte aérea, principalmente em temperaturas baixas. O mesmo é verificado por WATTS (1972) e RUSSEL (1977).

A dificuldade da absorção de água e de nutrientes pelas células da raiz se deve a mudança da permeabilidade da membrana celular e ao aumento da viscosidade da seiva, o que diminui a translocação e a velocidade das reações químicas e bioquímicas do vegetal, e reduz o crescimento. Entre 15°C e 25°C, observa-se aceleração do crescimento, tanto da raiz primária quanto do coleóptile das sementes de milho. À temperatura de 30°C observa-se crescimento, nessas duas regiões, inicialmente superior ao provocado pela temperatura de 25°C (TABELAS I e II) até o 3º dia. Posteriormente, o crescimento maior foi a 25°C. Essa temperatura de 30°C, constante no 3º dia consecutivo, deve ter influenciado negativamente as atividades metabólicas deste material vegetativo.

Sabe-se que, até certo limite, a temperatura acelera os processos metabólicos, mas, a partir dele, que varia de espécie para espécie e nos diferentes estágios de crescimento e desenvolvimento do vegetal, afeta-os, induz desnaturação de proteínas e inativação de material enzimático, além de desidratação celular, podendo até ser letal.

CARVALHO & NAKAGAWA (1988) comentam que a faixa de temperatura de 15°C a 30°C seria melhor para a germinação da maioria das espécies vegetais. STUCLIFFE (1977), citando o efeito da temperatura na expansão celular da região meristemática da raiz de feijão fava (*Vicia faba* L.), comenta que os processos se tornam bastante lentos a 30°C e rápidos a 25°C.

À temperatura de 35°C, neste experimento, observa-se efeito negativo no crescimento. Logo no início, no primei-

ro dia, há pequeno crescimento, menor que nas temperaturas de 20°C a 30°C, nas duas regiões estudadas. Após o 3º dia, não houve mais nenhum aumento, inclusive com efeito letal nas partes vegetativas estudadas, além de iniciar-se contaminação de fungos em algumas sementes. O melhor crescimento observado, tanto da raiz primária como do coleóptile, ocorre nas sementes submetidas à temperatura de 25°C.

BRYANT (1989) comenta que a temperatura afeta a composição do material de reserva da semente (carboidratos, proteínas, lipídeos, aminoácidos, ésteres de fosfato orgânico e nutrientes minerais), além de afetar todo o material enzimático, e, portanto, influir de forma drástica no crescimento inicial da plântula após a germinação.

CONCLUSÕES

Nas condições do experimento e com base nos resultados obtidos, conclui-se que a temperatura influi decisivamente no crescimento de plântulas de milho (*Zea mays* L.) cv. HMD. Temperaturas de 5°C e 10°C inibem drasticamente o crescimento; a 35°C há efeito letal após o 3º dia. A faixa de temperatura favorável ao crescimento da raiz primária foi de 20°C a 30°C e, para o coleóptile, de 25°C a 30°C. O crescimento ótimo da plântula ocorre sob a temperatura de 25°C.

RESUMO

Neste trabalho estuda-se o efeito de diferentes temperaturas, sobre o crescimento inicial de plântulas de milho (*Zea mays* L.) cv. HMD. São testadas as temperaturas de 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C e 35°C. O melhor crescimento ocorre sob a temperatura de 25°C. Temperaturas de 5°C e 10°C inibem drasticamente o crescimento. A faixa de temperatura para o crescimento da raiz primária vai de 20°C a 30°C e para o crescimento do coleóptile, de 25°C a 30°C. A temperatura de 35°C é letal após o 3º dia do tratamento.

Palavras-chave: Milho, crescimento de plântulas, temperatura.

SUMMARY

GROWTH OF SEEDLINGS OF MAIZE (*Zea mays* L.) cv. HMD

A study was conducted on the effect of different temperatures on the growth of seedlings of maize (*Zea mays* L.) cv. HMD. Temperatures of 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C and 35°C were tested. The best growth occurred under 25°C of temperature. Temperatures of 5°C and 10°C inhibit growth deeply. The best primary root growth temperature is from 20°C to 30°C; for the coleoptile it is from 25°C to 30°C. Temperature of 35°C is lethal after third day treatment.

Key words: Maize, growth of seedlings, temperatura.

LITERATURA CITADA

- BEWLEY, J.D. & BLACK, 1985. **Seeds: Physiology of Development and Germination**. New York, Plenum Press. 367p.
- BROWN, R., 1953. The Effects of Temperature on the Durations of the Different Stages of Cell Division in the Root Tip. *J. Exp. Bot.*, 2: 96-100.
- BRYANT, J.A., 1989. **Fisiologia da Semente**. Tradução de J.E. Kraus e K.V. de Sá Trench. São Paulo, Editora Pedagógica e Universitária. 86p. (Temas de Biologia, 36).
- CARVALHO, N.M. & J. NAKAGAWA, 1988. **Sementes: Ciência, Tecnologia e Produção Cargill**. 3.ed. Campinas, 424p.
- FENNER, M., 1985. **Seed Ecology**. New York, Chapman and Hall. 151p.
- GODOI, C.R.M., 1985. Análise Estatística Multidimensional. In: SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRÔNOMICA, 1., Piracicaba, FEALQ/ESALQ. **Anais**. 187p.
- MARDIA, K.V.; J.T. KENT & J.M. BIBBY, 1979. **Multivariate Analysis**. Londres, Academic Press. 521p.
- MORRISON, D.F., 1976. **Multivariate Statistical Methods**. 2.ed. Tokyo, McGraw Hill. 415p.
- PIMENTEL-GOMES, F., 1990. **Curso de Estatística Experimental**. 13.ed. São Paulo, Nobel. 467p.

- POLLOCK, B.M., 1974. Effects of Environment After Sowing on Viability. In: ROBERTS, E.H. (ed.). **Viability of Seeds**. Londres, Chapman and Hall. p. 150-171.
- RUSSEL, R.S., 1977. **Plant Root Systems: Their Function and Interaction with the Soil**. New York, Macgraw Hill 298p.
- STUCLIFFE, J., 1977. **Plants and Temperature**. Great Britain, The Institute of Biology's. 57p. (Studies in Biology, 86).
- TOOLE, V.K., 1973. Effects of Light, Temperature and their Interaction on the Germination of Seeds. **Seed Sci. & Technology**, 1(2): 339-396.
- WALKER, J.M., 1969. One-degree Increments in Soil Temperatures Affect Maize Seedling Behaviour. **Proc. Soc. Soil Sci. Am.**, 33: 729-736.
- WATTS, W.R., 1972. Leaf Extension in *Zea mays*. II. Leaf Extension in Response to Independent Variation of the Temperature of the Apical Meristem, of the Air Around the Leaves and of the Root-Zone. **J. Exp. Bot.**, 23:713-721.

APÊNDICE

Pela grande massa de cálculos intermediários, fica inviável para um trabalho desta natureza, exibir todos os passos e resultados da análise estatística. Visando àqueles mais interessados na parte estatística deste trabalho, damos a primeira saída do pacote SISMUL para o teste da fonte de variação Temperaturas. Antes, são apresentadas as matrizes das estimativas dos parâmetros do modelo adotado referentes às três variáveis: termo constante, termo linear e termo quadrático das parábolas ajustadas.

SISMUL: Modelo Linear Multidimensional.

Dimensões do Modelo Linear:

Nº de Colunas de X : 5

Nº de Var. Dependentes : 6

Nº de Obs. Multidimensionais: 20

Nome do Arquivo: c: dados lilian2.xy

Solução das Equações Normais

(B(I,J), Parâmetro I, Variável J)

B(1,1) = 0.5790000 B(2,1) = -0.5790000 B(3,1) = 0.1160000

B(4,1) = 0.0035000 B(5,1) = 0.6610000

B(1,2) = 1.4020000 B(2,2) = -1.2595000 B(3,2) = 0.5105000

B(4,2) = 0,0555000 B(5,2) = 1.6630000

B(1,3) = 2.5950000 B(2,3) = -2.2025000 B(3,3) = 0.8250000

B(4,3) = 1.0100000 B(5,3) = 2.5025000

B(1,4) = 3.8335000 B(2,4) = -3.1460000 B(3,4) = 1.5015000

B(4,4) = 2.5040000 B(5,4) = 2.5015000

B(1,5) = 5.6645000 B(2,5) = -4.6895000 B(3,5) = 2.1230000

B(4,5) = 3.4080000 B(5,5) = 4.3505000

B(1,6) = 7.8070000 B(2,6) = -6.6920000 B(3,6) = 4.1305000

B(4,6) = 6.0755000 B(5,6) = 3.8205000

Variâncias e Covariâncias Residuais

$$\begin{aligned}
 V(1,1) &= 0.0378167 & V(1,2) &= 0.0722200 & V(1,3) &= 0.0636300 \\
 V(1,4) &= 0.1250567 & V(1,5) &= 0.1842767 & V(1,6) &= 0.2762433 \\
 V(2,2) &= 0.2070800 & V(2,3) &= 0.1679517 & V(2,4) &= 0.3232083 \\
 V(2,5) &= 0.5566983 & V(2,6) &= 0.7920350 & & \\
 V(3,3) &= 0.1817900 & V(3,4) &= 0.3819150 & V(3,5) &= 0.5383900 \\
 V(3,6) &= 0.7457450 & & & & \\
 V(4,4) &= 0.8605483 & V(4,5) &= 1.1085333 & V(4,6) &= 1.6058567 \\
 V(5,5) &= 1.7458683 & V(5,6) &= 2.3892050 & & \\
 V(6,6) &= 3.7475733 & & & &
 \end{aligned}$$

Correlações Lineares Residuais

$$\begin{aligned}
 C(1,1) &= 1.0000000 & C(1,2) &= 0.8161064 & V(1,3) &= 0.7674239 \\
 C(1,4) &= 0.6932304 & C(1,5) &= 0.7171714 & C(1,6) &= 0.7337956 \\
 C(2,2) &= 1.0000000 & C(2,3) &= 0.8656259 & C(2,4) &= 0.7656422 \\
 C(2,5) &= 0.9258595 & C(2,6) &= 0.8990839 & & \\
 C(3,3) &= 1.0000000 & C(3,4) &= 0.9655930 & C(3,5) &= 0.9556662 \\
 C(3,6) &= 0.9035044 & & & & \\
 C(4,4) &= 1.0000000 & C(4,5) &= 0.9043892 & C(4,6) &= 0.8942194 \\
 C(5,5) &= 1.0000000 & C(5,6) &= 0.9340553 & & \\
 C(6,6) &= 1.0000000 & & & &
 \end{aligned}$$

Matriz C

$$\begin{bmatrix}
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{bmatrix}$$

Matriz U

$$\begin{bmatrix}
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{bmatrix}$$

SQ e SP da Hipótese
Temperaturas

H(1,1) = 3.3049300	H(1,2) = 8.3330400	H(1,3) = 13.8353500
H(1,4) = 17.3408200	H(1,5) = 27.5811400	H(1,6) = 33.5132900
H(2,2) = 22.2221200	H(2,3) = 37.9312250	H(2,4) = 49.1454350
H(2,5) = 77.7915450	H(2,6) = 97.3546950	
H(3,3) = 69.4898500	H(3,4) = 96.5303250	H(3,5) = 149.9769000
H(3,6) = 198.0120250		
H(4,4) = 143.9026300	H(4,5) = 219.2302850	H(4,6) = 306.7050600
H(5,5) = 335.9868700	H(5,6) = 462.2331950	
H(6,6) = 668.5868200		

SQ e SP do Resultado

R(1,1) = 0.5672500	R(1,2) = 1.0833000	R(1,3) = 0.9544500
R(1,4) = 1.8758500	R(1,5) = 2.7641500	R(1,6) = 4.1436500
R(2,2) = 3.1062000	R(2,3) = 2.5192750	R(2,4) = 4.8481250
R(2,5) = 8.3504750	R(2,6) = 11.8805250	
R(3,3) = 2.7268500	R(3,4) = 5.7287250	R(3,5) = 8.0758500
R(3,6) = 11.1861750		
R(4,4) = 12.9082250	R(4,5) = 16.6280000	R(4,6) = 24.0878500
R(5,5) = 26.1880250	R(5,6) = 35.8380750	
R(6,6) = 56.2136000		

Variáveis Canônicas da Hipótese
Temperaturas

Var. Canônica nº 1

Autovalor = 203.7117993 (84,6%)		
D(1,1) = 0.1149469	D(2,1) = 0.2351455	D(3,1) = -0.9113485
D(4,1) = 0.3047020	D(5,1) = 0.0692977	D(6,1) = -0.0573784

Var. Canônica nº 2

Autovalor = 35.2198268 (14,6%)		
D(1,2) = -0.3879326	D(2,2) = 0.8192922	D(3,2) = 0.2787941
D(4,2) = 0.1438839	D(5,2) = -0.2604574	D(6,2) = -0.1095532

Var. Canônica nº 3

Autovalor = 0.9919971 (0,4%)

D(1,3) = -0.8026358 D(2,3) = 0.5056373 D(3,3) = 0.1311942

D(4,3) = 0.0669326 D(5,3) = -0.2673889 D(6,3) = 0.0831746

Var. Canônica nº 4

Autovalor = 0.7739141 (0,3%)

D(1,4) = -0.9607662 D(2,4) = 0.1699379 D(3,4) = -0.0196612

D(4,4) = 0.0575027 D(5,4) = 0.1738995 D(6,4) = -0.1188079

Testes da Hipótese

Temperaturas

ROY : S = 4 ML = 0.5 NL = 4.0

 $c_1/(1+c_1) = 0.9951$, Consulte valor crítico (Morrison)

WILKS : N1 = 24 N2 = 22 F(Obs.) = 16.12 NMS(F) = 0.000

HOTELLING: N1 = 24 N2 = 34 F(Obs.) = 85.25 NMS(F) = 0.000

PILLAI : N1 = 24 N2 = 52 F(Obs.) = 5.72 NMS(F) = 0.000

OBSERVAÇÃO: A listagem do computador se refere ao livro de MORRISON (1976), para julgamento da maior raiz característica (ou maior autovalor) $\theta_1 = 0,9951$ do teste de Roy. Mas tabelas mais completas foram publicadas por PIMENTEL—GOMES (1990).