

TEMPERATURA CARDEAL E POTENCIAL HÍDRICO NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE CORDA-DE-VIOLA (*Ipomoea triloba*)¹

*Effect of Cardinal Temperature and Water Potential on Morning Glory (*Ipomoea triloba*) Seed Germination*

RIZZARDI, M.A.², LUIZ, A.R.³, ROMAN, E.S.⁴ e VARGAS, L.⁵

RESUMO - O presente trabalho teve como objetivos avaliar o efeito da temperatura e da umidade na germinação e na emergência de corda-de-viola (*Ipomoea triloba*) e determinar o efeito de potenciais hídricos e de temperaturas na germinação de sementes e na elongação do hipocótilo e da radícula dessa espécie. Avaliaram-se os termoperíodos de 9,3 e 5 (7,5); 14,3 e 10 (12,5); 19,3 e 15 (17,5); 24,3 e 20 (22,5); 29,3 e 25 (27,5); 34,3 e 30 (32,5); 39,2 e 35 (37,5) e 44,2; 40 (42,5); e 49,2 e 45 (47,5) °C, alternando-se durante 14 e 10 horas, e os potenciais hídricos de 0, -0,03, -0,06, -0,1, -0,2, -0,4, -0,6 e -0,9 MPa. A germinação de corda-de-viola foi descrita pela interação da temperatura e do potencial hídrico, e a taxa de elongação da radícula e do hipocótilo, em função da temperatura. Os parâmetros do modelo usado para estimar as temperaturas cardeais e o potencial hídrico base foram determinados por "probit" análise, para a germinação. Em se tratando dos processos de elongação, as temperaturas cardeais foram determinadas por regressão linear, e suas respostas à temperatura, descritas por equação de regressão de segunda ordem. Os modelos matemáticos usados descreveram os processos de germinação e elongação do hipocótilo e da radícula dessa espécie em termos de tempo hidrotérmico e temperatura, respectivamente.

Palavras-chave: modelagem, tempo hidrotérmico, "probit" análise.

ABSTRACT - This work aimed to assess the effect of temperature and moisture on the germination and emergence of morning glory (*Ipomoea triloba*) and to determine the effect of water potential and temperature on seed germination and hypocotyl and radicle elongation. Thermoperiods of 9.3 and 5 (7.5); 14.3 and 10 (12.5); 19.3 and 15 (17.5); 24.3 and 20 (22.5); 29.3 and 25 (27.5); 34.3 and 30 (32.5); 39.2 and 35 (37.5) and 44.2 and 40 (42.5) and 49.2 and 45 (47.5) °C, which alternated for 14 and 10 hours, and water potentials of 0, -0.03, -0.06, -0.1, -0.2, -0.4, -0.6 and -0.9 MPa were evaluated. The germination of morning glory seeds occurred through temperature and water potential interaction whereas radicle and hypocotyl elongation was triggered by temperature. With regard to germination, the parameters of the model used to estimate cardinal temperatures and the baseline water potential were determined by probit analysis. As to elongation processes, cardinal temperatures were calculated by linear regression and their responses to temperature were described by a second-order regression equation. The mathematical models described the processes of seed germination and of hypocotyl and radicle elongation of this species as a function of hydrothermal time and temperature, respectively.

Keywords: modeling, hydrothermal time, probit analysis.

INTRODUÇÃO

A emergência de plantas daninhas é influenciada por variações genéticas e climáticas e por variações induzidas pelas práticas culturais, especialmente as que influenciam os teores de

umidade e de temperatura do solo (Swanton & Murphy, 1996). Dessa forma, modelos de simulação que integrem essas variáveis podem ser usados, por exemplo, na tomada de decisão sobre o emprego de herbicidas pós-emergentes nas culturas, com vistas à sua redução.

¹ Recebido para publicação em 27.11.2007 e na forma revisada em 18.1.2009.

² Eng^o-Agr^o, Professor da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - UPF, Caixa Postal 611, 9901-970 Passo Fundo-RS, Bolsista de Pesquisa do CNPq, <rizzardi@upf.br>; ³ Bióloga, Aluna do PPGAgro em Agronomia, UPF; ⁴ *In memoriam*; ⁵ Eng^o-Agr^o, Pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo-RS.



O conhecimento da fenologia das plantas daninhas e da cultura e da época adequada de aplicação dos herbicidas, considerando a máxima emergência das plantas daninhas, permite adotar medidas de controle mais eficazes, por possibilitar a avaliação das infestações e reduzir o risco da aplicação desnecessária de produtos químicos (Roman et al., 1999).

Os processos biológicos envolvidos na emergência são germinação, alongação da radícula e alongação do hipocótilo, cada um deles requerendo diferentes condições de ambiente para iniciar (Gummerson, 1986). A germinação é regulada pela temperatura e pelo potencial hídrico do solo, enquanto a alongação da radícula e a do hipocótilo são reguladas pela temperatura (Carberry & Campbell, 1989; Fyfield & Gregory, 1989).

A germinação inicia-se com a absorção de água pela semente, sendo essa quantidade variável. Cada espécie necessita de quantidade diferente de água para que os processos metabólicos germinativos comecem (Alvarado & Bradford, 2002).

A taxa e a duração de embebição podem ser governadas pelo potencial de água no solo e pela resistência do movimento de água no sistema solo-semente, ocorrendo de um potencial mais alto para um mais baixo (Roman et al., 2000). Segundo esses autores, a embebição final acontece quando ocorre equilíbrio entre o potencial de água do solo e o potencial de água da semente. Esses potenciais são compostos de potenciais osmóticos, potencial matricial e potencial de pressão. O potencial de água no solo é determinado pelo potencial matricial, enquanto os demais são importantes para compor o potencial hídrico da semente (Gummerson, 1986).

A água no solo é relativamente difícil de ser medida, e seus efeitos cumulativos sobre a dormência, germinação e emergência são de difícil integração. Para isso, foi criado o conceito de hidrotêmpo, que foi expandido para tempo hidrotérmico no modelo desenvolvido por Roman et al. (1999), a fim de prever a germinação e emergência de *Chenopodium album*. O modelo de tempo hidrotérmico descreve e quantifica os efeitos da temperatura e do potencial hídrico na germinação (Gummerson, 1986).

A temperatura é outro fator importante na germinação das sementes, chegando a ser considerado o principal fator ambiental que controla a germinação em um solo úmido (Deen et al., 1998). A resposta à temperatura foi classificada e resumida em três temperaturas cardeais: mínima, ótima e máxima (Grundy & Mead, 2000; Alvarado & Bradford, 2002; Leblanc et al., 2003).

Nas temperaturas base e máxima, a germinação não ocorre. Na temperatura ótima, a germinação é mais rápida. Nas faixas subótima e supraótima, a taxa de germinação responde linearmente à temperatura (Roman et al., 1999; Grundy & Mead, 2000; Steckel et al., 2004).

A temperatura do solo é o principal fator que governa a taxa de alongação da radícula (Carberry & Campbell, 1989). Taxas de alongação geralmente são funções simples e lineares do tempo térmico (Roman et al., 2000).

A habilidade em descrever a interação entre temperatura e potencial hídrico em uma curva simples, certamente, facilitaria os esforços para desenvolver modelos ecofisiológicos de germinação e emergência de plantas daninhas, visando um controle efetivo. Diante disso, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da temperatura e da umidade na germinação e na emergência de corda-de-violão (*Ipomoea triloba*) e determinar o efeito de potenciais hídricos e de temperaturas na germinação de sementes e na alongação do hipocótilo e da radícula de corda-de-violão.

MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos na Embrapa Trigo, em Passo Fundo-RS, em condições controladas. As sementes de corda-de-violão (*Ipomoea triloba*) neles utilizadas foram coletadas em lavouras próximas a Passo Fundo, no ano de 2003.

Determinação das temperaturas cardeais e potencial hídrico base

O experimento foi conduzido em condições de ambiente controlado, em delineamento completamente casualizado, com quatro repetições. Foram testados nove termoperíodos e

oito potenciais hídricos na germinação de sementes de corda-de-viola.

Os termoperíodos foram de 9,3 e 5 (7,5); 14,3 e 10 (12,5); 19,3 e 15 (17,5); 24,3 e 20 (22,5); 29,3 e 25 (27,5); 34,3 e 30 (32,5); 39,2 e 35 (37,5); 44,2 e 40 (42,5); e 49,2 e 45 (47,5) °C, alternando-se durante 14 e 10 horas, respectivamente. Essas condições foram semelhantes àquelas que ocorrem no ambiente local.

Os potenciais hídricos utilizados foram de 0, -0,03, -0,06, -0,1, -0,2, -0,4, -0,6 e 0,9 MPa. No preparo dos potenciais hídricos utilizou-se polietileno glicol 8.000 (PEG), visando criar soluções com diferentes potenciais, de acordo com Hardegree & Emmerich (1994). Esse composto foi usado porque ele não interfere no efeito salino da solução, o que poderia afetar os fenômenos biológicos envolvidos nos processos de germinação e alongação da parte aérea e radicular, além de não ser fitotóxico, não atravessar o sistema de membranas e não ser metabolizado pelas sementes nos processos de germinação e de alongação das partes aérea e radicular (Hardegree & Emmerich, 1994).

Para cada tratamento, colocaram-se 100 sementes em placas de Petri de 10 cm de diâmetro, com papel-filtro, constituindo assim a unidade experimental. Dez mililitros das oito soluções de potencial hídrico foram então adicionados. As placas de Petri foram enroladas com saco plástico preto e colocadas no germinador com temperatura controlada. As sementes germinadas foram contadas e removidas diariamente, até que a germinação cessasse. Todas as sementes que não germinaram em cada placa de Petri foram coletadas e lavadas em água destilada, para remover possíveis resíduos de PEG (Thomas et al., 1994).

Essas sementes foram transferidas para outras placas de Petri, contendo água destilada, sendo colocadas em germinador à temperatura na faixa ideal e potencial hídrico de 0 MPa, para estimar o número total de sementes viáveis. Os números cumulativos de sementes germinadas foram expressos em porcentagem do número total de sementes viáveis (Thomas et al., 1994).

Para determinar as diferenças entre os níveis de temperatura e potencial hídrico na germinação de corda-de-viola, foi realizada a análise de variância pelo teste F; quando

significativo ($p < 0,05$), procedeu-se à análise comparativa pelo teste de Tukey a 5%.

A partir do número de sementes germinadas nos diferentes potenciais hídricos e temperaturas, foi possível determinar as taxas de germinação cumulativa para cada temperatura e potencial hídrico, modeladas pela função Weibull (Dumur et al., 1990):

$$Y = M\{1 - \exp[-k(t-a)^c]$$

em que Y = germinação cumulativa (%) num tempo (t); M = germinação máxima; k = taxa de germinação (dias^{-1}); t = tempo do início da germinação em dias; a = fase lag em dias; e c = forma do parâmetro.

Os parâmetros k , a e c foram estimados por um procedimento de regressão não-linear, usando o método DUD (*Doesn't Use Derivative*) de computação (Ralston & Jennrich, 1979). Esse é um método de regressão não-linear que usa o método iterativo multivariado secante para estimar os parâmetros de interesse (Bahler et al., 1989). O tempo de germinação de uma dada porcentagem (50%, por exemplo) foi então calculado de cada curva de germinação, usando uma fórmula derivada da função Weibull:

$$t = \{ \{ [1n(1-(y/m)]/K \}^{1/c} + a$$

As taxas para 50% da germinação foram calculadas para cada termoperíodo e potencial hídrico. Para determinar a faixa sub e supra-ótima, a taxa de 50% de germinação para cada termoperíodo, abaixo e acima da temperatura observada a -0,03 MPa (capacidade de campo), foi plotada contra a temperatura, resultando em duas equações de regressão independentes (Dumur et al., 1990).

As temperaturas base e máxima foram estimadas pela interceptação de cada linha de regressão com a abscissa. A temperatura ótima (t_0) foi calculada da interceptação dessas duas linhas de regressão (Dumur et al., 1990), usando-se os interceptos e a inclinação dessas duas equações de regressões: $T_0 = (a_2 - a_1)/(b_1 - b_2)$.

O potencial hídrico-base foi calculado plotando-se a taxa de 50% de germinação para cada termoperíodo contra os potenciais hídricos. O potencial hídrico base foi estimado pela interseção da linha de regressão com a abscissa (Fyfield & Gregory, 1989; Dahal & Bradford, 1994).



Para obter um potencial hídrico base e uma temperatura base representativa da população, usou-se o procedimento descrito por Ellis et al. (1987). Para a temperatura base, a resposta da germinação ao tempo térmico na faixa subótima de temperatura $[(T - T_b)t_{50}]$ foi determinada pelo procedimento estatístico "Probit" análise (SAS, 1990), no qual a temperatura base foi fixada entre os valores de 8,5 a 10,5, com incrementos de 0,5 °C. A melhor estimativa foi aquela que deu o menor desvio dos resíduos. O mesmo procedimento foi utilizado para calcular a temperatura máxima e estimar o potencial hídrico base.

Os valores de temperatura base, temperatura ótima, temperatura máxima e potencial hídrico base também foram estimados por "Probit" análise e utilizados no cálculo do tempo hidrotérmico para cada combinação de temperatura e potencial hídrico. Um gráfico dos resíduos experimentais *versus* a variável independente, tempo hidrotérmico, foi usado para testar o ajuste do modelo, como sugerido por Bethea et al. (1995).

O mesmo procedimento foi utilizado para o cálculo da temperatura ótima e da temperatura máxima, usando a faixa de temperatura supraótima para calcular o tempo térmico para 50% de germinação, assim como para estimar o potencial hídrico base. Esses valores de temperatura base, temperatura ótima, temperatura máxima e potencial hídrico base estimados por "Probit" análise foram utilizados para calcular o tempo hidrotérmico para cada combinação de temperatura e potencial hídrico. Subseqüentemente, os dados cumulativos de germinação foram plotados contra o tempo hidrotérmico e modelados pela função Weibull modificada, na qual o tempo t foi substituído pelo tempo hidrotérmico:

$$Y = M\{1 - \exp[-k(\theta_{HT} - a)^c]$$

em que Y = germinação cumulativa (%) num tempo hidrotérmico (θ_{HT}); M = germinação máxima; k = taxa de germinação; a = fase lag; e c = forma do parâmetro.

Os parâmetros k , a e c foram estimados por um procedimento de regressão não-linear, usando o método DUD (*Doesn't Use Derivative*) de computação (Ralston & Jennrich, 1979), plotando o tempo hidrotérmico *versus* porcentagem de germinação.

Determinação das temperaturas cardeais no processo de alongação da parte aérea e da radícula de corda-de-viola

Neste experimento foram testados os mesmos termoperíodos e o potencial hídrico zero (água pura) apresentado anteriormente, para determinar as temperaturas cardeais envolvidas no processo de alongação da parte aérea e radícula. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, em câmaras de crescimento.

As sementes foram pré-germinadas em temperatura ambiente, próxima a 25 °C, em placas de Petri, utilizando como substrato papel-filtro Whatman nº 3, umedecido em água destilada. Quando a radícula apresentou 1 mm, 10 plântulas foram transferidas para placas de Petri contendo ágar. As plântulas foram alinhadas ao longo do diâmetro da placa; depois de fechadas com papel-alumínio, foram colocadas verticalmente nas câmaras, de modo que as radículas ficassem orientadas para baixo. Esse procedimento permitiu medições diretas da parte aérea e da radícula, sem destruição da amostra (Dracup et al., 1993).

As placas foram mantidas no escuro nas câmaras de crescimento, exceto durante as determinações do comprimento da radícula e da parte aérea. O comprimento desses órgãos foi avaliado diariamente, até que as folhas primárias estivessem totalmente expandidas.

Regressões lineares do comprimento da parte aérea e da radícula *versus* tempo foram realizadas e utilizadas para definir a fase linear de crescimento desses órgãos em cada termoperíodo. Os declives de cada equação linear representaram a taxa de alongação da parte aérea e da radícula em função da temperatura (Dracup et al., 1993; Carberry & Campbell, 1989).

A seguir, as taxas de alongação obtidas da parte aérea e da radícula foram, então, regressadas contra a temperatura para estimar as temperaturas cardeais para esses processos, de acordo com os mesmos procedimentos adotados para a germinação e citados por Carberry & Campbell (1989) e Dracup et al. (1993). A fim de estimar a resposta da alongação da parte aérea e da radícula para a população

de corda-de-violão em função da temperatura, uma função quadrática foi ajustada às taxas de crescimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A germinação de sementes de corda-de-violão foi influenciada tanto pelos potenciais hídricos quanto pelas temperaturas às quais foram submetidas (Tabela 1). A germinação reduziu à medida que decresceram os níveis de potencial hídrico das soluções, principalmente a partir de -0,1 MPa. Observa-se, pelas médias dos tratamentos, que a germinação foi maior no potencial hídrico menor (0). Os potenciais -0,03 e -0,06 MPa apresentaram comportamento elevado, porém imediatamente inferior ao potencial hídrico (0).

Os potenciais hídricos -0,2 e -0,4 MPa apresentaram comportamento intermediário, enquanto os potenciais -0,6 e 0,9 MPa mostraram desempenho inferior quando submetidos às mesmas condições de estresse. O decréscimo observado na germinação das sementes à medida que aumentaram as concentrações do potencial osmótico está de acordo com os resultados obtidos por outros autores (Sá, 1987).

A redução dos processos metabólicos durante a germinação deve-se não só à sensibilidade das sementes à variação do potencial hídrico, como também à natureza da substância indutora, que, muitas vezes, apresenta efeitos mais tóxicos que osmóticos sobre a germinação. No caso do PEG 8000, utilizado neste trabalho, não há risco de ser absorvido pelas sementes por causa do seu alto peso molecular; contudo, as soluções de PEG podem apresentar alta viscosidade, que, somada à

baixa taxa de difusão de oxigênio, pode comprometer a disponibilidade de oxigênio para as sementes (Hardegree & Emmerich, 1994).

A redução acentuada da germinação das sementes em maiores concentrações de PEG 8000 (-0,6 e -0,9 MPa) pode ser atribuída, basicamente, à redução da quantidade de água absorvida pelas sementes, uma vez que não foram constatadas na literatura informações sobre possíveis efeitos tóxicos provocados por esse agente osmótico. Campos & Assunção (1990) atribuem o fato à aparente inibição da síntese e/ou à atividade das enzimas hidrolíticas necessárias à germinação das sementes, com o aumento da concentração das soluções osmóticas.

Além de o estresse hídrico afetar a embebição, a velocidade e a porcentagem de germinação das sementes, o primeiro efeito mensurável da baixa disponibilidade de água é a redução no crescimento, causada pela diminuição da expansão celular (Kramer, 1974). O processo de alongamento celular e a síntese de parede são extremamente sensíveis ao déficit hídrico, e a redução do crescimento como consequência da diminuição do alongamento celular seria causada por decréscimo na turgescência dessas células (Hsiao, 1973).

Nos níveis mais baixos de potencial hídrico (-0,6 e -0,9 MPa), o decréscimo na absorção de água pelas sementes reduziu intensamente a germinação das plântulas de corda-de-violão, quando comparados com os da testemunha (potencial hídrico 0), o que evidencia o efeito prejudicial do déficit hídrico sobre o desempenho germinativo e crescimento das plântulas dessa espécie.

Tabela 1 - Germinação de corda-de-violão (*Ipomoea triloba*) em função dos tratamentos, potenciais hídricos e temperatura

Temperatura/ Potencial	0	-0,03	-0,06	-0,1	-0,2	-0,4	-0,6	-0,9	Valor de F	CV%
7,5	0,000aC	0,000aC	0,000aC	0,000aD	0,000aD	0,000aB	0,000aC	0,000aC	0,00 ns	0,00 ns
12,5	10,750aABC	9,250abBC	3,137abBC	5,750abcCD	4,000bcCD	1,500cB	0,000cC	0,000cC	10,36**	53,4**
17,5	22,500aAB	19,500aAB	4,293aAB	15,250aAB	14,500aABC	12,750aA	0,000bC	0,000bC	12,84**	36,9**
22,5	23,250aAB	17,750abAB	4,779abA	18,000abA	15,250abcAB	14,250abcA	10,500bcB	4,750cB	5,7**	31,06**
27,5	24,250aA	22,500aA	4,6997abA	20,750abA	20,000abA	17,250abA	15,000abA	7,500bA	3,23**	31,92**
32,5	22,250aAB	20,500aA	4,5048aA	16,250abAB	7,000bcBCD	3,250cB	0,000cC	0,000cC	20,61**	37,80**
37,5	18,000aAB	16,500aAB	4,0229aAB	14,500abABC	6,250bcBCD	3,000cB	0,000cC	0,000cC	19,2**	38,31
42,5	10,500aBC	9,750aBC	3,1543abBC	8,500abBCD	5,000bcBCD	2,750cdB	0,000dC	0,000dC	19,41**	34,70
47,5	0,000aC	0,000aC	0,000aC	0,000aD	0,000aD	0,000aB	0,000aC	0,000aC	0,00ns	0,00ns
Valor de F	11,92**	15,33**	18,43**	15,84**	9,20**	28,26**	52,21**	65,16**		
CV%	38,60	33,99	31,06	35,30	57,97	41,45	56,01	50,73		

** = significativo a 5%. ns = não-significativo. Médias na mesma linha seguidas por letras minúsculas e médias na mesma coluna seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.



Entre os diferentes níveis de temperatura testados, a germinação das sementes foi nula em temperaturas inferiores a 7,5 °C e superiores a 47,5 °C (Tabela 1). A maior germinação das sementes foi observada na temperatura de 27,5 °C, sendo a temperatura intermediária de 22,5 °C.

Variações na germinação das sementes foram dependentes de ambas as variáveis, e as respostas dos diferentes níveis de potenciais hídricos testados foram dependentes das temperaturas testadas e vice-versa. Variações nas temperaturas em estudo mostraram resposta diferenciada à condição de estresse hídrico imposta pelo PEG 8000. Variações similares também foram observadas por Roman et al. (2000) e por Kebreab & Murdoch (2000). Entre as diferentes temperaturas testadas, o melhor potencial hídrico foi da testemunha (0), ao passo que os piores potenciais foram os de -0,6 e -0,9 MPa. Nesses potenciais hídricos, a germinação somente ocorreu nas temperaturas de 22,5 e 27,5 °C.

As respostas da germinação das sementes nos diferentes tratamentos forneceram indicações das faixas sub e supraótima de temperaturas que servirão para os procedimentos estatísticos e análise de “Probit” para estimativas das temperaturas cardeais e do potencial hídrico base para o fenômeno da germinação.

As temperaturas cardeais (mínima, ótima e máxima) e o potencial hídrico base encontrado para a corda-de-viola, estimados por este procedimento estatístico (“Probit” análise), constam na Tabela 2. Esses valores foram usados para calcular o tempo hidrotérmico.

As estimativas constantes na Tabela 2 referem-se à porcentagem estabelecida de 50%. Contudo, interações entre potencial hídrico base para um dado percentil de tempera-

tura ou entre temperatura base e potencial hídrico ocorrem de tal maneira que esses parâmetros variam de acordo com as condições do meio de incubação (Dahal & Bradford, 1994; Roman et al., 2000) e com um dado percentil (Gummerson, 1986; Fyfield & Gregory, 1989).

As temperaturas cardeais variam com as porcentagens e com o potencial osmótico do meio de incubação e, em geral, essas estimativas também apresentam amplos intervalos de confiança (Roman et al., 1999). Alta variabilidade nessas estimativas também foi reportada para *Vigna radiata* (Fyfield & Gregory, 1989) e *Vicia faba* (Dumur et al., 1990). Essa variabilidade dentro da população é sobrepujada por meio do procedimento estatístico de “Probit” análise (Ellis et al., 1987).

O uso do “Probit” análise possibilitou combinar todos os dados de germinação em todas as temperaturas e potenciais hídricos testados em uma mesma regressão. Assim, podem-se estimar as temperaturas cardeais e o potencial hídrico base para toda a população de sementes de corda-de-viola, como observado por Roman et al. (1999) em estudo em que determinaram os efeitos desses fatores na germinação de sementes de *Chenopodium album*.

A curva do tempo de germinação (Figura 1A) predito pelo modelo do tempo hidrotérmico ajustou adequadamente ($R^2 = 0,70$) a fenologia da germinação de sementes de corda-de-viola. Assim, o modelo foi considerado apropriado para descrever o fenômeno da germinação, com base no padrão de distribuição dos resíduos experimentais (Figura 1B), os quais não apresentam padrão definido de distribuição.

A descrição da germinação em função dos efeitos combinados da temperatura e do potencial hídrico evitou a necessidade de descrever a germinação como funções separadas para diferentes condições de umidade e temperatura, a qual não teria efeito prático. A extensão do tempo térmico de modo a incluir respostas ao potencial hídrico, através da incorporação de um termo de interação entre esses dois fatores (temperatura e potencial hídrico), possibilitou a descrição da germinação por meio de faixas de temperaturas e potencial hídrico.

Tabela 2 – Estimativas de temperaturas cardeais e potencial hídrico base para a germinação de corda-de-viola (*Ipomoea triloba*), por meio da análise de “Probit”

Parâmetro	Valor estimado
Temperatura mínima (°C)	9,0
Temperatura ótima (°C)	27,1
Temperatura máxima (°C)	51,3
Potencial hídrico base (Mpa)	-0,90

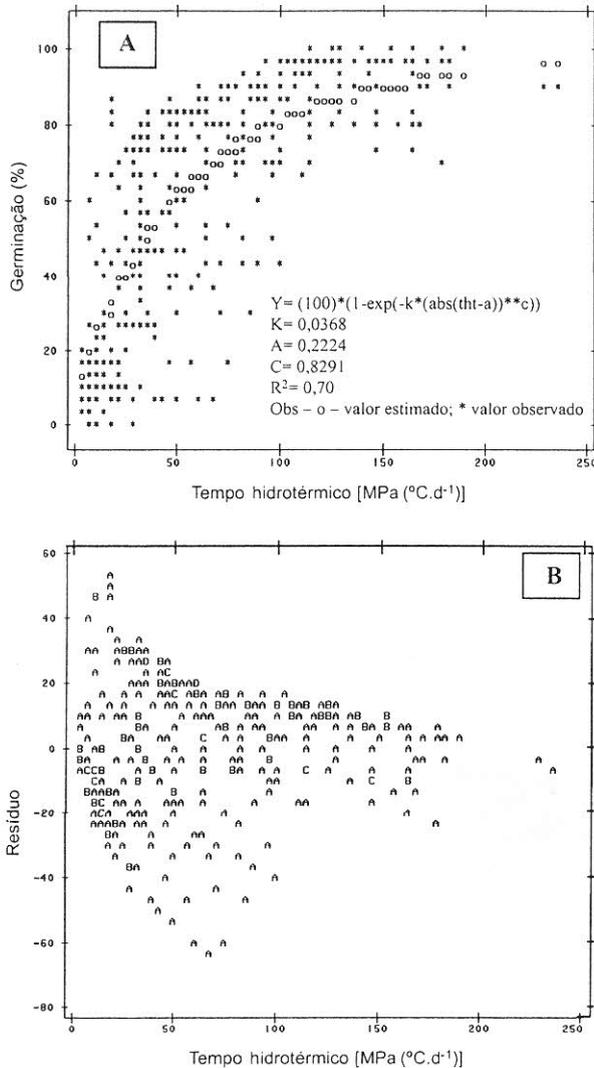


Figura 1 - Distribuição da germinação de sementes de corda-de-viola (A) e distribuição residual (B), em função do tempo hidrotérmico, [MPa (°C.d⁻¹)] descrito pela função Weibull.

Alguns modelos que descrevem as germinações cumulativas, baseadas no tempo térmico, têm restrições ao modelar a germinação sob condições de umidade limitada. No campo, uma espécie vegetal com temperatura base elevada experimentalmente pequena porcentagem de germinação no início da primavera, quando as temperaturas do solo estivessem abaixo de sua temperatura base. Contudo, rápida resposta à germinação a um aumento na temperatura, isto é, maior inclinação da reta na fase linear, poderia compensar a baixa germinação inicial causada pela temperatura-base.



As temperaturas cardiais para a elongação da radícula e do hipocótilo foram determinadas usando as regressões lineares (Figuras 2 e 3), onde a temperatura-base e a temperatura máxima foram estimadas pela interseção da reta com a abscissa, usando-se os parâmetros das equações obtidas da equação dessa reta – faixa subótima e a faixa supraótima (Tabela 3).

Para a parte aérea, a temperatura ótima foi de 25,7 °C; a temperatura mínima, de 15,4 °C; e a máxima, em torno de 52 °C. Quanto à parte radicular, a temperatura ótima foi de 16,3 °C, a temperatura mínima, de 4,3 °C; e a máxima, em torno de 34,0 °C (Tabela 4). A diferença nos valores obtidos pode ser atribuída a fatores ambientais, como temperatura, luz e umidade. A temperatura base mais baixa para o crescimento da radícula em relação à da parte aérea é uma estratégia ecológica importante

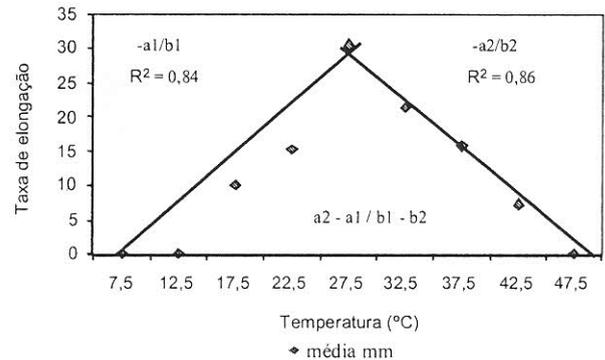


Figura 2 - Efeito da temperatura na taxa de elongação da parte aérea de corda-de-viola.

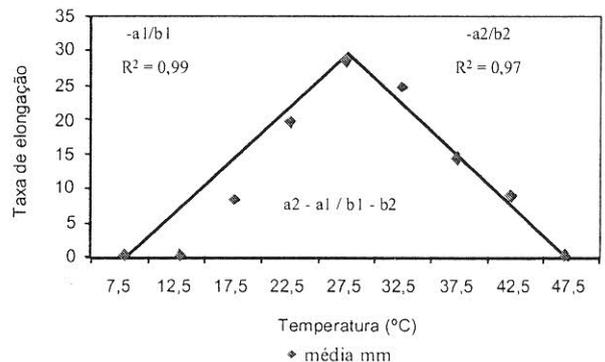


Figura 3 - Efeito da temperatura na taxa de elongação da radícula de corda-de-viola.

Tabela 3 - Parâmetros para determinar as temperaturas cardiais da parte aérea e radicular de corda-de-viola (*Ipomoea triloba*)

Temperatura	Parte aérea	Radícula
Base-subótima	a1 = -1,85, b1 = 0,12	a1 = 1,83, b1 = -0,42
Máxima-supraótima	a2 = 5,20, b2 = -0,01	a2 = 9,43, b2 = -0,27
Ótima	a2 = 5,20, a1 = -1,85, b1 = 0,12, b2 = -0,01	a2 = 9,43, a1 = 1,83, b1 = -0,42, b2 = -0,27

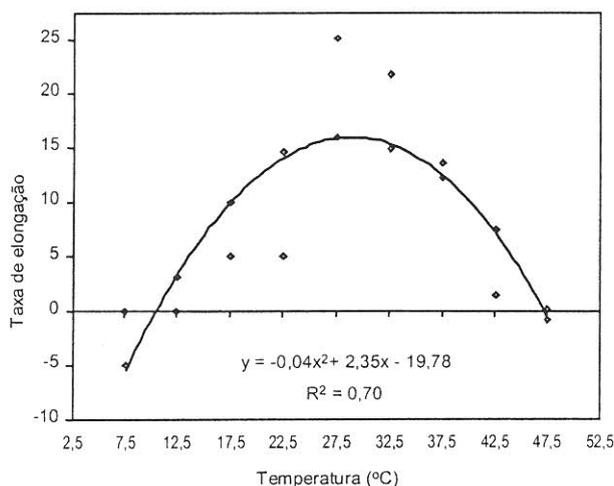
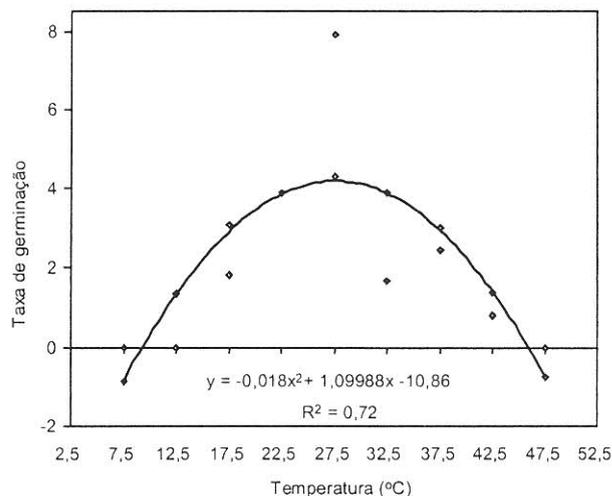
para a sobrevivência da espécie. Assim, a maior habilidade da radícula para crescer em condições mais frias, quando comparada com a parte aérea, facilitaria a fixação das plântulas emergentes e a captura e a translocação dos recursos disponíveis para as plântulas crescerem (Roman et al., 1999). A temperatura fora da faixa ótima reduz-se na taxa de crescimento da parte aérea e da parte radicular (Whalley et al., 1999; Roman et al., 2000).

Tabela 4 - Valores estimados de temperaturas cardiais para os processos de alongação da parte aérea e da radícula de corda-de-viola (*Ipomoea triloba*)

Parâmetro	Valor estimado	
	Parte aérea	Radícula
Temperatura mínima (°C)	15,4	4,3
Temperatura ótima (°C)	25,7	16,3
Temperatura máxima (°C)	52,0	34,0
Potencial hídrico base (Mpa)	-0,9	-0,9

As taxas de crescimento do hipocótilo e da radícula variaram com a temperatura (Figuras 4 e 5). Para estimar as taxas de alongação da parte aérea e da radícula de corda-de-viola em função da temperatura, uma função quadrática foi ajustada aos dados, descrevendo em 70 e 72% a variação do crescimento da parte aérea e da radícula, respectivamente. A taxa de alongação da parte aérea foi descrita pela equação: $y = -0,04x^2 + 2,35x - 19,78$ ($R^2 = 0,70$), e a taxa de alongação da parte radicular, pela equação $y = -0,018x^2 + 1,09988x - 10,86$ ($R^2 = 0,72$).

Pode-se concluir que a germinação foi descrita pela interação da temperatura e do potencial hídrico e que a taxa de alongação da radícula e do hipocótilo foi descrita em função da temperatura. Os modelos usados descreveram os processos de germinação e alongação de corda-de-viola em termos de tempo hidrotérmico e temperatura, respectivamente.

**Figura 4** - Efeito da temperatura na taxa de alongação da parte aérea de corda-de-viola.**Figura 5** - Efeito da temperatura na taxa de alongação da radícula de corda-de-viola.

LITERATURA CITADA

- ALVARADO, V.; BRADFORD, J. K. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant Cell Environ.*, v. 25, n. 9, p. 1061-1071, 2002.
- BAHLER, C.; HILL Jr., R. R.; BYERS, R. A. Comparison of logistic and Weibull functions: The effects of temperature on cumulative germination of alfafa. *Crop Sci.*, v. 29, n. 1, p. 142-146, 1989.
- BETHA, R. M.; DURAN, B. S.; BOULLION, T. L. *Statistical methods for engineers and scientists*. Marcell Deckker, New York, 1995. p. 305-362.
- CAMPOS, I. S.; ASSUNÇÃO, M. V. Estresse salino e hídrico na germinação e vigor do arroz. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 25, n. 6, p. 857-862, 1990.
- CARBERRY, P. S.; CAMPBELL, L. C. Temperature parameters useful for modeling the germination and emergence of pearl millet. *Crop Sci.*, v. 29, n. 1, p. 220-223, 1989.
- DAHAL, P.; BRADFORD, K. J. Hidrothermal time analysis on tomato seed germination at suboptimal temperature and reduced water potential. *Weed Sci.*, v. 4, n. 1, p. 71-80, 1994.
- DEEN, W.; HUNT, T.; SWANTON, J. C. Influence of temperature, photoperiod, and irradiance on the phenological development of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*). *Weed Sci.*, v. 46, n. 4, p. 555-560, 1998.
- DUMUR, D.; PILBEM, C. J.; CRAIGON, J. Use of the Weibull function to calculate cardinal temperatures in faba bean. *J. Exper. Bot.*, v. 41, n. 11, p. 1423-1430, 1990.
- DRACUP, M.; DAVIS, C.; TAPSCOTT, H. Temperature and water requirements for germination and emergence of lupin. *Aust. J. Exper. Agric.*, v. 33, n. 6, p. 759-766, 1993.
- ELLIS, R. H.; SIMON, G.; COVELL, S. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. III. A comparison of five faba bean genotypes at constant temperatures using a new screening method. *J. Exper. Bot.*, v. 38, n. 6, p. 1033-1043, 1987.
- FYFIELD, T. P.; GREGORY, P. J. Effects of temperature and water potential on germination, radicle elongation and emergence of mungbean. *J. Exper. Bot.*, v. 40, n. 6, p. 667-674, 1989.
- GRUNDY, C. A.; MEAD, A. Modeling weed emergence as a function of meteorological records. *Weed Sci.*, v. 48, n. 5, p. 594-603, 2000.
- GUMMERSON, R. J. The effect of constant temperature and osmotic potential on the germination of sugar beet. *J. Exper. Bot.*, v. 37, n. 6, p. 729-741, 1986.
- HARDEGREE, S. P.; EMMERICH, W. E. Seed germination response to polyethylene glycol solution depth. *Seed Sci. Technol.*, v. 22, n. 1, p. 1-7, 1994.
- HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, v. 24, n. 1, p. 519-570, 1973.
- KEBREAB, E.; MURDOCH, A. J. The effects of water stress on the temperature range for germination of *Orobanche aegyptica* seeds. *Seed Sci. Res.*, v. 10, n. 2, p. 127-133, 2000.
- KRAMER, P. J. Fifty years of progress in water relations research. *Plant Physiol.*, v. 54, n. 4, p. 463-471, 1974.
- LEBLANC, L. M. et al. The use of thermal time to model common lambsquarters (*Chenopodium album*) seedling emergence in corn. *Weed Sci.*, v. 51, n. 5, p. 718-724, 2003.
- RALSTON, M. L.; JENNRICH, R. I. DUD, a derivative-free algorithm for non-linear least squares. *Technometrics*, v. 20, n. 1, p. 7-14, 1979.
- ROMAN, E. S. et al. Modeling germination and elongation of common lambsquarters (*Chenopodium album*). *Weed Sci.*, v. 47, n. 1, p. 149-155, 1999.
- ROMAN, E. S.; MURPHY, S. D.; SWANTON, C. Simulation of *Chenopodium album* seedling emergence. *Weed Sci.*, v. 48, n. 2, p. 217-224, 2000.
- SÁ, M. E. *Relações entre qualidade fisiológica, disponibilidade hídrica e desempenho de sementes de soja (Glycine max (L.) Merrill)*. 1987. 147 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1987.
- SAS. Institute Incorporation. *SAS/STAT user's guide*: version 6. 4. ed. Cary: 1990. v. 2.
- STECKEL, E. L.; SPRAGUE, L. C.; STOLLER, W. E. Temperature effects on germination of nine *Amaranthus* species. *Weed Sci.*, v. 52, n. 2, p. 217-221, 2004.
- SWANTON, C. J.; MURPHY, S. D. Weed Science beyond the weeds: The role of integrated weed management (IWM) in agroecosystem health. *Weed Sci.*, v. 44, n. 4, p. 437-445, 1996.
- THOMAS, A. et al. Effect of temperature on germination within and between diploid and tetraploid populations of *Matricaria perforata* Merat. *Weed Res.*, v. 34, n.2, p. 187-198, 1994.
- WHALLEY, R. W. et al. The response of carrot (*Daucus carota* L.) and onion (*Allium cepa* L.) seedlings to mechanical impedance and water stress at sub-optimal temperatures. *Plant Cell Environ.*, v. 22, n. 3, p. 229-235, 1999.

