

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**SIMULAÇÃO DA GERMINAÇÃO E EMERGÊNCIA
DE *Ipomoea grandifolia* NA CULTURA DA SOJA,
USANDO O MODELO ECOFISIOLÓGICO LQSIM
Emerge.**

ANA RUBIA MARQUES LUIZ

**Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação da
UPF, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia – Área de
Concentração em Produção
Vegetal.**

Passo Fundo, Agosto de 2006.

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

SIMULAÇÃO DA GERMINAÇÃO E EMERGÊNCIA
DE *Ipomoea grandifolia* NA CULTURA DA SOJA,
USANDO O MODELO ECOFISIOLÓGICO LQSIM
Emerge.

ANA RUBIA MARQUES LUIZ
Bióloga

Orientador: Prof. Dr. Mauro Antonio Rizzardi
Co-orientador: Ph D Erivelton Scherer Roman

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação da
UPF, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia – Área de
Concentração em Produção
Vegetal.

Passo Fundo, Agosto de 2006.

VITA

Ana Rubia Marques Luiz, filha de Maria Madalena M. Luiz e Pedro Luiz, nasceu em 23 de agosto de 1979, em Três Passos Rio Grande do Sul. Teve sua formação de ensino fundamental e ensino médio na Escola de 1º e 2º Grau Espírito Santo - FUNDEP, concluída no final de 1997.

Em 1998, ingressou no Curso de Ciências Biológicas na Universidade de Passo Fundo (UPF). Durante o curso de graduação estagiou nos laboratórios de Entomologia e Citogenética Humana.

Realizou estágio extracurricular e curricular obrigatório em Plantas Daninhas na Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, de abril de 2001 a dezembro de 2002, sob orientação do Pesquisador Ph.D Erivelton Scherer Roman.

Ingressou, em março de 2003, no curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, na Universidade de Passo Fundo, - RS, trabalhando no Laboratório de Fisiologia Vegetal da Embrapa Trigo, sob orientação do professor Dr. Mauro Antonio Rizzardi e co-orientação do pesquisador Ph D Erivelton Scherer Roman.

Realizou estágio como recém graduada – bolsista CNPq de dezembro 2004 a junho 2005 trabalhando no Laboratório de Meteorologia Aplicada à Agricultura, da Embrapa Trigo, sob orientação do pesquisador Dr. Gilberto Rocca da Cunha e co-orientação do pesquisador Dr. João Leonardo Fernandes Pires.

DEDICO

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Pedro Luiz e Maria Madalena Marques Luiz, pelo Amor, Força e Coragem. Por me ensinar a caminhar sozinha, investindo no meu conhecimento e no meu crescimento como ser humano.

AGRADECIMENTOS

- A Embrapa Trigo, por investir no conhecimento, permitindo a realização do trabalho experimental.
- À Universidade de Passo Fundo, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
- Ao caríssimo orientador, Mauro Antônio Rizzardi, por ter instruído e acompanhado a execução do projeto, pelos ensinamentos, atenção e dedicação.
- Ao co-orientador e pesquisador da Embrapa Trigo Erivelton Scherer Roman, por ter instruído e acompanhado a execução do projeto e pela atenção, orientação e dedicação, ensinando a fazer o melhor, sempre.
- Aos pesquisadores Gilberto Rocca da Cunha e João Leonardo Fernandes Pires, pela oportunidade de ser bolsista do CNPq.
- Ao pesquisador da Embrapa Trigo José Maurício Cunha Fernandes, pela orientação das análises estatísticas.
- Ao pesquisador Euclides Minella, pela oportunidade de ser bolsista na área de melhoramento de cevada.
- Ao coordenador do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Professor Alexandre Augusto Nienow, pela receptividade e por compreender que nem sempre as coisas saem como o planejado.
- A Mari Gomes Viecelli, secretária do Programa de Pós-Graduação, pela competência e respeito.
- Aos funcionários do laboratório de Fisiologia Vegetal da Embrapa Trigo, Ângelo Dal Bosco Filho, Lucimere de Fátima

Morelo M. Costa e Edson Costenaro pelos ensinamentos, amizade e carinho. A vocês, o meu muito obrigado.

- Aos funcionários do Laboratório de Meteorologia Aplicada à Agricultura da Embrapa Trigo, Aldemir Pasinato e Ivegndonei Sampaio.
- À Caroline Wesp, pela amizade, apoio e incentivo. A você o meu muito obrigado.
- Aos funcionários da área de plantas daninhas, em especial ao Celso A. Nardi e ao Clovis Signori, e aos estagiários Daniel Boscardin e Daniela Hoffmann pelo carinho e pela ajuda constante. A vocês o meu muito obrigado.
- Aos funcionários da área de melhoramento, em especial ao Ademir Viccari e ao Milton Dalmoro, pela amizade e compreensão.
- Ao amigo Jorge Fernando pelo incentivo e amizade a você o meu muito obrigado!
- A amiga Francismar, pela ajuda nas análises estatísticas e pela amizade, a você o meu muito obrigado!
- A minha linda família, em especial ao meu pai, Pedro Luiz, a minha mãe Maria Madalena M. Luiz, a minha avó, Milda Irena Marques da Silva, e aos meus irmãos André Henrique e Juliana, que sempre me deram forças e acreditaram em mim.
- As minhas queridas irmãzinhas do coração, Joseani Antunes e Lisandra Lunardi, pela amizade, pelas risadas e por amenizar as tristezas.
- As funcionárias da biblioteca da Embrapa Trigo por terem me ajudado sempre que precisei. A vocês o meu muito obrigado!
- Aos amigos, Ronaldo, Fernando Zanatta, Evandro Lampert, Luciano Lombardi, Adriano Boeira, Rogério Kunz, Fabiane,

Tanaka Lima Pereira, Eunice, Fernanda Nicknich, pela amizade e pela alegria tantas vezes compartilhadas.

- Aos pesquisadores Renato S. Fontaneli e Regina Fontaneli, pela ajuda nas análises estatísticas e pela amizade.
- Aos funcionários do celeiro material genético da Embrapa Trigo, pela amizade.
- A todos os professores do curso de Pós-Graduação, pela dedicação, carinho e profissionalismo.
- A Deus, por ter me dado a oportunidade de estar aqui, concluindo mais uma etapa da minha vida.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUÇÃO	01
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	04
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Experimento 1.....	16
3.2 Experimento 2.....	21
3.3 Experimento 3.....	23
3.4 Simulação da época de emergência de <i>Ipomoea grandifolia</i>	25
3.5 Teoria e desenvolvimento do modelo.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Experimento 1	30
4.2 Experimento 2.....	40
4.3 Experimento 3.....	44
4.4 Simulação da época de emergência de <i>Ipomoea grandifolia</i>	48
5 CONCLUSÕES	51
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1A.	Análise de variância da germinação de sementes de corda-de-viola (<i>Ipomoea grandifolia</i>) em função do potencial hídrico e da temperatura, Embrapa Trigo, 2003/04.....	32
1B.	Germinação de corda-de-viola (<i>Ipomoea grandifolia</i>) em função dos tratamentos, potenciais hídricos e temperatura. Passo Fundo, 2003/2004.	33
2.	Estimativas de temperaturas cardeais (°C) e potencial hídrico base (Mpa) para a germinação de corda-de-viola (<i>Ipomoea grandifolia</i>), por meio de “Probit” análise Embrapa Trigo, 2003/04.....	34
3.	Parâmetros para determinar as temperaturas cardeais da parte aérea e radicular, Embrapa Trigo, 2003/04.....	40
4.	Temperaturas cardeais (°C) para os processos de alongação da parte aérea e da radícula, de corda-de-viola (<i>Ipomoea grandifolia</i>), Embrapa Trigo, 2003/04.....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura.....	Página
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, Embrapa Trigo, Cepagro UPF, 2003/04 e 2004/05.....	37
2. Efeito da temperatura na taxa de alongação da parte aérea de corda-de-viola, Embrapa Trigo, 2003/04.....	39
3. Efeito da temperatura na taxa de alongação da radícula de corda-de-viola, Embrapa Trigo, 2003/04.....	39
4. Efeito da temperatura na taxa de alongação da parte aérea de corda-de-viola, Embrapa Trigo, 2003/04.....	41
5. Efeito da temperatura na taxa de alongação da radícula de corda-de-viola, Embrapa Trigo, 2003/04.....	42
6. Índice de velocidade de emergência de corda-de-viola em função de palha de aveia-preta, Embrapa Trigo e Cepagro UPF, no ano agrícola 2003/04 e 2004/05	44
7. Índice de velocidade de emergência de corda-de-viola em função de palha de aveia-preta, Embrapa Trigo e Cepagro UPF, no ano agrícola 2003/04 e 2004/05.....	45

8. Índice de velocidade de emergência de corda-de-viola em função de anos, na média de níveis de palha aveia-preta, Embrapa Trigo e Cepagro UPF, no ano agrícola 2003/04 e 2004/05..... 46
9. Emergência cumulativa de corda-de-viola em função de dias após a semeadura da safra de soja 2003/04. (a) sem palha, (b) 3,4 t ha de palha ,(c) 6,8 t ha de palha e (d) 10,2 t há¹ de palha, Embrapa Trigo 2003/2004..... 48
10. Emergência cumulativa de corda-de-viola em função de dias após a semeadura da safra de soja 2004/05. Figura (a) sem palha, (b) 3,4 t há¹ de palha ,(c) 6,8 t há¹ de palha e (d) 10,2 t há¹ de palha Embrapa Trigo, 2004/2005..... 48

**SIMULAÇÃO DA GERMINAÇÃO E EMERGÊNCIA DE
Ipomoea grandifolia NA CULTURA DA SOJA, USANDO O
MODELO ECOFISIOLÓGICO LQSIM Emerge.**

**ANA RUBIA MARQUES LUIZ¹, MAURO ANTONIO
RIZZARDI², ERIVELTON SCHERER ROMAN³**

RESUMO – O uso de herbicidas é a principal medida de controle de plantas daninhas nos sistemas de produção de grãos no Sul do Brasil. O desenvolvimento de sistemas de manejo de plantas daninhas com reduzida dependência de herbicidas é exigência da sociedade e desafio à produção de alimentos. A aplicação dos herbicidas no momento em que há o maior número de plântulas emergidas é uma estratégia para o manejo de plantas daninhas, com vistas à redução no uso de produtos químicos. O presente trabalho teve como objetivos avaliar o efeito da temperatura e da umidade na germinação e na emergência de corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia* Dommer O' Donell.); determinar o efeito de potenciais hídricos e de temperaturas na germinação de sementes e na alongação do hipocótilo e da radícula de corda-de-viola; prever, em função das condições de temperatura e de umidade, a emergência de corda-de-viola; obter coeficientes e parâmetros necessários para o desenvolvimento de modelos de simulação da emergência de plantas daninhas em condições de campo; validar um modelo mecanístico de predição da fenologia da emergência de corda-de-viola, em função das condições climáticas.

¹ Bióloga, Mestranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGAgro) da FAMV/UPF, área de concentração Produção Vegetal.

² Orientador, Eng. Agr. Dr. professor da FAMV/PPGAgro/UPF – rizzardi@upf.br

³ Co-orientador, Eng.-Agr., Ph D Pesquisador Embrapa Trigo.

Estudos foram conduzidos a campo e em laboratório usando sementes de corda-de-viola. A germinação de corda-de-viola foi descrita pela interação da temperatura e do potencial hídrico e a taxa de alongação da radícula e do hipocótilo foi descrita em função da temperatura. Os parâmetros para o modelo, usado para estimar as temperaturas cardeais e o potencial hídrico base foram determinados por “probit” análise para a germinação. Para os processos de alongação, as temperaturas cardeais foram determinadas por regressão linear e suas respostas à temperatura foram descritas por equação de regressão de segunda ordem. Os modelos matemáticos usados descreveram os processos de germinação e alongação do hipocótilo e da radícula dessa espécie em termos de tempo hidrotérmico e temperatura, respectivamente. Os parâmetros obtidos foram usados no modelo LQSIM EMERGE, o qual foi validado, através de dados obtidos a campo, podendo ser usado para prever a germinação e a emergência de plantas daninhas.

Palavras-chave: corda-de-viola, modelagem, temperatura, tempo hidrotérmico, umidade.

**SIMULATING THE GERMINATION AND EMERGENCE
OF *Ipomoea grandifolia*
PROCESS OF SOYBEAN USING THE ECOPHYSIOLOGICAL
LQSIM Emerge MODEL**

**ANA RUBIA MARQUES LUIZ⁴, MAURO ANTONIO
RIZZARDI⁵, ERIVELTON SCHERER ROMAN⁶**

ABSTRACT – The use of herbicides is the main practice used for weed control on the most important grain production systems in Southern Brazil. The development of weed management systems with reduced dependence on herbicides is not only a society requirement but also a challenge for food production. The herbicides application when most of the weed have emerged is a strategy for the management of those species aiming at the reduction of herbicide application. This work have the objective of validating a ecophysiological model for predicting the phenology of emergence of (*Ipomoea grandifolia* Dommer O’ Donell.), as a function of the weather conditions on soybeans capable of assisting technicians and farmers on decision making in relation to herbicide application on soybeans. Studies were conducted under both field conditions and using *Ipomoea grandifolia* the germination process was described by the interaction of temperature and water potential white the rate of radicle and hypocotyl elongation was a function of temperature solely.

⁴ Student of Master Degree Post Graduation in Agronomy at the University of Passo Fundo, UPF.

⁵ Advisor, Agronomist Engineer, Dr. Teacher of Faculty of Agronomy and Veterinary Medicine at UPF (University of Passo Fundo); rizzardi@upf.br

⁶ Advisor, Agronomist Engineer, Ph-D, Embrapa Trigo.

The parameters for the model cardinal temperatures and base, water potential, were estimated by probit analysis. The parameters necessary for the process of elongation, i.e. cardinal temperatures, was estimated by regression analysis and their response to temperature were describe by a second order equation. The mathematical models described the processes of germination and radicle and hypocotyls elongation in terms of thermal time respectively. The parameters obtained in the study were used in the LQSIM EMERGE which was validated using the data obtained under field conditions and can be used for predicting germination and emergence of *Ipomoea grandifolia* in the field.

KEY-WORDS: modelling, temperature, water potential, thermal time, *Ipomoea grandifolia*.

1 INTRODUÇÃO

As plantas daninhas apresentam características que lhes conferem alta agressividade, mesmo em ambiente adverso ao seu desenvolvimento. Além de causarem redução na produção, devido a competição por recursos necessários ao desenvolvimento, essas espécies daninhas liberam compostos alelopáticos prejudiciais às culturas.

O uso de herbicidas é a principal medida de controle de plantas daninhas. Contudo, a utilização desses agrotóxicos inadequadamente traz conseqüências adversas ao homem e ao ambiente. O desconhecimento da época de emergência das plantas daninhas em relação à cultura faz com que o agricultor use excessivamente os herbicidas, o que ocasiona a contaminação do solo e da água, além da seleção de populações de plantas daninhas resistentes a esses produtos químicos.

Como as plantas daninhas emergem em fluxos, a aplicação de herbicida se faz necessária quando a maioria das plântulas já tenha emergido, dessa forma diminuindo a competição por recursos do ambiente. A aplicação de herbicida nesse momento é considerada uma estratégia de manejo integrado de plantas daninhas (MIPD).

Os principais processos biológicos envolvidos na emergência são a germinação da semente e a alongação da parte aérea e radicular, sendo que cada um desses processos requerem diferentes condições ambientais para ocorrer (FYFIELD & GREGORY, 1989).

A germinação é induzida pela temperatura e potencial hídrico, enquanto a alongação da parte aérea e da radícula são induzidas pela temperatura (GUMMERSON, 1986; CARBERRY & CAMPBELL, 1989).

Uma vez que a temperatura base de uma espécie seja conhecida, o tempo de germinação pode ser normalizado numa escala de tempo térmico. Existem dois tipos de modelos: o mecanístico, ou ecofisiológico, que se baseiam nos fatores ambientais; e o modelo empírico, se baseia nas variáveis explicativas da perda de produtividade da cultura. O modelo ecofisiológico utilizado nesse trabalho prediz a fenologia da germinação da planta daninha em diferentes anos e locais, acompanhados pela integração do tempo hidrotérmico para descrever a germinação e do tempo térmico para descrever a elongação da parte aérea e da radícula.

Uma razão para utilização limitada dos modelos de germinação de plantas daninhas, dentro do MIPD, é a inabilidade de estimar como ocorre a interferência entre a planta daninha e a cultura. A intensidade de interferência da planta daninha se baseia, em parte, pelo tempo necessário para a emergência dessa, em relação ao tempo de emergência da cultura. Esse tempo varia, principalmente de acordo com as condições ambientais, palhada, espécie, tamanho e idade das sementes.

A utilização de herbicidas deve sempre ser planejada, implementada e avaliada em função da planta daninha presente, das condições do ambiente e das características e propriedades do herbicida a ser usado. A palha na superfície do solo é de fundamental importância para a manutenção do sistema de semeadura. Isso reforça a preocupação de produzir resíduos vegetais que tenham decomposição mais lenta, o que significaria manter o resíduo protegendo o solo por maior período de tempo. A palha é influenciada pela temperatura e umidade do solo, podendo alterar a dinâmica do

soo através da liberação de compostos alelopáticos, modificações da relação C/N e favorecendo o aparecimento de insetos, além de interferir na dinâmica de germinação das plantas daninhas.

Com a definição do momento mais adequado para o emprego de medidas de controle da espécie indesejável, pode-se reduzir a aplicação de herbicidas e, assim, possibilitar o seu uso racional no ecossistema.

A habilidade de 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.

O presente trabalho teve como objetivos avaliar o efeito da temperatura e da umidade na germinação e na emergência de corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia* Dommer O' Donell.); determinar o efeito de potenciais hídricos e de temperaturas na germinação de sementes e na elongação do hipocótilo e da radícula de corda-de-viola; prever, em função das condições de temperatura e de umidade, a emergência de corda-de-viola; obter coeficientes e parâmetros necessários para o desenvolvimento de modelos de simulação da emergência de plantas daninhas em condições de campo; validar um modelo mecanístico de predição da fenologia da emergência de corda-de-viola, em função das condições climáticas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O controle de plantas daninhas é uma prática importante para a obtenção de alta produtividade em qualquer atividade agrícola. Conforme a espécie, a densidade e a distribuição das plantas daninhas na lavoura, as perdas na produtividade da cultura causadas por elas, podem ser superiores a 80%. A planta daninha afeta a produtividade das culturas por competir pela luz solar, pela água e pelos nutrientes e, dependendo do nível de infestação e da espécie, dificulta a operação de colheita e compromete a qualidade do grão (VARGAS & ROMAN, 2000).

Dentre as principais espécies de plantas daninhas, da cultura de requeiro destaca-se a espécie *Ipomoea grandifolia* (Dammer) O'Donell, que pertence à família Convolvulaceae, conhecida popularmente como corda-de-viola. As plantas dessa espécie são apreciadas como ornamentais por apresentarem flores intensamente coloridas pelo fato de crescerem sobre obstáculos, sendo usadas também para cobrir caramanchões. Entretanto, essa espécie tornou-se importante infestante em diferentes culturas, dificultando principalmente a colheita (KISSMANN & GROTH, 1999; LORENZI, 2000).

Kissmann & Groth (1999) descrevem a *Ipomoea grandifolia* como uma espécie de ciclo anual e herbácea. Essa espécie tem propagação via sementes, com germinação no fim do inverno, sendo seu ciclo até a maturação de 150 – 180 dias, podendo ser reduzido para 120 dias se a germinação ocorrer no verão. As folhas são simples, alternas e com limbo de formato irregular, com 4 – 8 cm

de comprimento e 2 – 4 cm de largura. A coloração é verde, com uma pigmentação purpúrea – arroxeadada. O fruto tem o formato de cápsula septífragas subglobosas, com apículo de 1,5 - 2,0 mm, 5 – 6 mm de altura e 5 – 7 mm de diâmetro, e coloração castanho – clara na maturação, que ocorre geralmente com 4 sementes.

Durante a década de 1980, o controle de corda-de-viola e de outras espécies de plantas daninhas concentrou-se basicamente no uso de herbicidas pré-emergentes. Durante a última década, herbicidas pós-emergentes foram disponibilizados para o controle geral de plantas daninhas, especialmente em culturas anuais (ROMAN, 1998).

Conforme Roman (1998), conhecer a fenologia das plantas daninhas e da cultura e a época adequada de aplicação dos herbicidas, considerando a máxima emergência das planta daninhas, torna possível adotar medidas de controle mais eficazes, por permitir avaliar as infestações e reduzir o risco da aplicação desnecessária de produtos químicos. Neste contexto, Forcella et al. (1993), definiram a época em que ocorre 80% de emergência de plantas daninhas como sendo a ideal para intervir com medidas de manejo.

As sementes também necessitam de luz para germinar, embora mais importante que a intensidade de radiação é a qualidade da luz recebida pela semente, já que, dependendo do comprimento de onda da radiação, a germinação pode ser inibida ou estimulada.

A competição inicia quando o sistema radicular de uma planta invade a área da outra, em período anterior ao início da competição por luz. Em climas secos, as raízes definem o sucesso ou o

fracasso na competição entre as espécies. A parte aérea desenvolve-se, então, na proporção da extensão do sistema radicular, como descrito por RADOSEVICH et al., 1997.

A dormência de sementes é o principal fator que influencia o momento da germinação. Uma vez que a dormência seja suprada, as condições ambientais determinarão a taxa de germinação e emergência. A germinação é representada pelo aparecimento da radícula, através da membrana externa do embrião (BRADFORD, 2002).

A germinação inicia com a absorção de água pela semente, sendo essa quantidade variável. Cada espécie necessita quantidade diferente de água para que os processos metabólicos germinativos iniciem. A velocidade de absorção de água é determinada por vários fatores como: disponibilidade, composição química da semente, permeabilidade do tegumento, temperatura e qualidade fisiológica da semente, sendo esta última um dos mais valiosos recursos necessários ao crescimento e desenvolvimento das plantas (BEWLEY & BLACK, 1994; ALVARADO & BRADFORD, 2002).

A emergência é importante para o desenvolvimento da planta daninha e o seu padrão determinará o grau de sobrevivência e competição com outras culturas, influenciando a produção de sementes (FORCELLA et al., 2000). Os mesmos autores analisaram modelos de emergência de plantas daninhas, enfatizando a necessidade de distinguir processos como dormência, germinação e pré-emergência, e os fatores ambientais que os condicionam. Grundy (2003) identificou que a dormência é o fator limitante para a aplicação de modelos.

A germinação e a emergência de plantas daninhas ocorrem em fluxos, tornando difícil à tomada de decisão sobre o momento ideal de intervenção com métodos de manejo e controle dessas espécies. O controle inadequado das plantas daninhas é um dos principais fatores relacionados à redução na produtividade de grãos da soja (ROMAN et al., 1999).

O estresse hídrico tem vários efeitos sobre o crescimento de plantas, limitando a expansão foliar e o desenvolvimento do sistema radicular. A razão da biomassa de raízes para a parte aérea parece ser governada por um balanço funcional entre a absorção de água pelas raízes e a fotossíntese (TAIZ & ZEIGER, 2004).

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 de solo-semente, ocorrendo de um potencial mais alto para um mais baixo (ROMAN, 1998). A embebição final acontece quando ocorre equilíbrio entre 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 potenciais são importantes para compor o potencial hídrico da semente (BENECH-ARNOLD et al., 1990).

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 hidrotampo, que foi expandido para tempo hidrotérmico no modelo desenvolvido por ROMAN et al. (1999), para 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).

As sementes são sensíveis aos efeitos da salinidade e, quando semeadas em soluções salinas, observa-se uma diminuição na absorção de água (TAIZ & ZEIGER, 2004), devido ao abaixamento dos potenciais hídricos que diminuem a absorção de água, inviabilizando o processo germinativo.

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. A resposta à temperatura foi classificada e resumida em três temperaturas cardeais: temperatura mínima, ótima e máxima (ROMAN, 1998; DEEN et al., 1998; WEIKAI & HUNT., 1999; STEINMAUS et al., 2000; GRUNDY & MEAD, 2000; ALVARADO & BRADFORD, 2002; LEBLANC et al., 2003).

Na temperatura base e máxima, a germinação não ocorre (ROMAN et al. 1999; ALVARADO & BRADFORD, 2002; STECKEL et al. 2004). Na temperatura ótima, a germinação é mais rápida. Na faixa subótima e supra-ótima, a taxa de germinação responde linearmente à temperatura, (ROMAN, 1998; WEAVER et al., 1988; WEIKAI & HUNT, 1999; GRUNDY & MEAD, 2000).

A temperatura do solo é o principal fator que governa a taxa de alongação da radícula. Taxas de alongação geralmente são funções simples e lineares do tempo térmico (CARBERRY & CAMPBELL, 1989; ORYOKOT et al., 1997; ROMAN et al., 2000).

O uso de tempo térmico do solo nos modelos de emergência funciona bem, já que a emergência pode ser representada

por uma simples curva sigmóide, uma vez que o processo biológico da germinação tenha iniciado. Modelos de emergência de plântulas podem ser divididos em duas categorias: mecanístico ou ecofisiológicos, e modelos empíricos. O modelo mecanístico apresenta maior chance de sucesso porque tem base em efeito do ambiente conhecido e quantificado sobre processos biológicos, tais como a germinação e a alongação da parte aérea e da radícula. Já os modelos empíricos relacionam as perdas de produtividade à presença da planta daninha, com base nas densidades da cultura e da planta daninha (RIZZARDI, 2002).

A cobertura vegetal do solo, no sistema semeadura direta, pode proporcionar tanto efeitos positivos quanto negativos sobre o crescimento de plantas. O uso da cobertura morta interfere sobre a composição da população infestante, pois apresenta influência sobre os fatores de quebra de dormência de sementes, favorecendo a germinação de algumas espécies e prejudicando a de outras (SANTOS et al., 1998).

A cobertura morta, serve como elemento isolante, capaz de proteger o solo das variações de temperatura ocorridas durante o dia. Desta forma, os restos culturais são atualmente usados no manejo de plantas daninhas em semeadura direta, permitindo a redução no uso de herbicidas (PEETEN, 1990). Muitas espécies de plantas daninhas não germinam ou atrasam a germinação se encobertas por camada uniforme de palha, já que a germinação de algumas espécies ocorre após a quebra de dormência, causando atrasos na germinação.

Grande parte dos estudos na área de modelagem é para estimar ou prever o início da germinação de sementes ou o tempo

necessário para que 50% das sementes emerjam (FORCELLA et al., 2000).

Modelos que predizem a emergência em condições controladas, teoricamente descrevem a emergência a campo. Por exemplo, a germinação de *Abutilon theophrasti* and *Chenopodium album* em câmaras de crescimento, sob diferentes temperaturas, permitiu o sucesso no desenvolvimento de um modelo de simulação (FORCELLA, 1993; HARVEY & FORCELLA, 1993), predizendo a emergência destas espécies. Esse tipo de simulação permite a criação de equações que simulam os efeitos da temperatura diária na germinação. Vleeshouwers (1997) sintetizou a informação para *C. album*, *P. persicaria*, e *Spergula arvensis* e mais recentemente as simulações feitas por Roman et al. (2000), com *C. album* representam o modelo mecanístico de emergência.

Modelos lineares baseado no tempo térmico e no tempo hidrotérmico têm sido largamente utilizados em espécies de plântulas pequenas para descrever a influência da temperatura e do potencial de água na germinação sob condições constantes (GUMMERSON, 1986; ALVARADO & BRADFORD, 2002).

O modelo de tempo hidrotérmico descreve e quantifica os efeitos da temperatura e do potencial hídrico na germinação (GUMMERSON, 1986). Esse modelo determina que o tempo para a germinação é inversamente proporcional à quantidade de um fator de germinação (temperatura ou potencial hídrico) que ultrapassa o nível limiar para esse fator (MEYER et al., 2000; BRAFD, 2002).

Os modelos atualmente disponíveis para prever a emergência de plantas daninhas foram desenvolvidos com base no

tempo térmico (BEWICK et al., 1988; CARBERRY & CAMPBELL, 1989; BENECH-ARNOLD et al., 1990; HARVEY & FORCELLA, 1993; VLEESHOWERS & KROPFF, 1996), para espécies como *Sorghum halepense*, *Setaria glauca*, *Amaranthus retroflexus* e *Chenopodium album* (BENECH-ARNOLD et al. 1990; FORCELLA, 1992; HARVEY & FORCELLA, 1993).

Com base na temperatura e no potencial de água no solo, Weaver et al. (1988) simularam a emergência de quatro espécies de plantas daninhas com tomate (*Lycopersicon esculentum*.). Diferenças de épocas de emergência entre cultura e plantas daninhas em resposta à temperatura, foram usadas para indicar a época ideal de semeadura e, também, para estimar as perdas potenciais na produtividade da cultura.

Trabalhos realizados por Vleeshouwers & Kropff (1996) demonstraram que o início da emergência, após o preparo do solo, poderia ser predito pelo acúmulo de temperatura (tempo térmico) após a data de cultivo do solo até a época de ocorrência do primeiro fluxo de emergência. No entanto, os fluxos de emergência posteriores foram descritos com pouca precisão e, dessa forma, estes autores sugeriram que seria necessária a inclusão do fator umidade do solo para melhor prever a emergência de plantas daninhas.

Um modelo para predizer a emergência de cebola (*Allium cepa*) em função da temperatura do ar (expressa em tempo térmico) e do potencial de água no solo foi desenvolvido por Finch-Savage & Phelps (1993). Esse modelo não acumula temperatura quando o potencial de água no solo está abaixo do potencial base para

germinação e assim, desconsidera a emergência de plântulas em condições de solo com déficit hídrico.

Em outro trabalho, Forcella (1993) propôs a distribuição de frequência cumulativa para descrever a germinação de *Abutilon theophrasti*, usando equações que descrevem a taxa de germinação diária em função da temperatura média diária e outra equação que descreve a relação entre o potencial hídrico do solo e a taxa de germinação. A taxa de germinação diária é estimada em função do produto de ambas as equações.

A época de emergência das plantas daninhas é influenciada por variações genéticas e climáticas induzidas por práticas de manejo (FORCELLA, 1992; MOHLER, 1993; SWANTON & MURPHY, 1996), especialmente em termos de umidade e temperatura do solo e suas interações (ROMAN, 1998). No entanto, em razão dos teores de umidade no solo não serem considerados, esses modelos podem ser inadequados para prever a emergência de plantas daninhas em regiões onde deficiências de água são frequentes durante a época de emergência dessas espécies (ROMAN, 1998).

Apesar dos efeitos da temperatura e da umidade do solo terem sido quantificados, variáveis de significado biológico, tais como temperaturas cardiais e potencial hídrico base, que definem os processos biológicos envolvidos na emergência, não foram incluídos no modelo. Em adição, os processos de germinação e de emergência foram considerados como similares, quando, na verdade, são processos diferentes, tendo, cada um, diferentes temperaturas cardiais e requerimentos em umidade (ROMAN, 1998).

Embora vários equipamentos estejam disponíveis para medir o potencial hídrico, os mesmos são caros, por isso, não são usados rotineiramente. No entanto, o potencial hídrico no solo pode ser estimado com o uso de variáveis climáticas, como precipitação pluvial e balanço hídrico do solo (ROMAN et al., 1999; FORCELA et al., 2000).

Oryokot et al. (1997) publicaram um dos primeiros modelos ecofisiológicos que simulam a emergência de plantas daninhas, o qual considera as variáveis envolvidas, que governam o processo de emergência de plântulas. Esse modelo foi desenvolvido a partir de um conjunto de algoritmos para simular a emergência de populações mistas de *Amaranthus powellii* e *Amaranthus retroflexus* e baseia-se nas respostas da germinação e alongação do hipocótilo à temperatura e ao potencial de água no solo. A utilidade desse modelo foi demonstrada pela sua capacidade em prever a emergência cumulativa dessas espécies em diferentes locais, em diferentes anos e para diferentes sistemas de preparo de solo.

Para temperaturas subótimas, o tempo de germinação pode ser descrito baseando-se no tempo térmico ou unidade de calor. Modelos similares foram propostos para descrever a taxa de germinação em temperaturas supra-ótimas. A porcentagem de germinação de sementes diminui linearmente quando a temperatura ultrapassa o valor ótimo para esse processo biológico, (LEBLANC et al., 2003).

Contudo, na mesma população de sementes de uma espécie, as temperaturas cardeais para esse processo variam com uma fração da população considerada. Porém, não existem explicações

fisiológicas para estas respostas. Alvarado & Bradford (2002) propuseram que o comportamento de germinação de sementes na temperatura supra-ótima é consequência da sensibilidade da germinação ao potencial hídrico.

O modelo de tempo hidrotérmico descreve a relação entre o potencial hídrico e a taxa de germinação de sementes em analogia ao modelo de temperatura ótima. Esse modelo descreve o tempo de germinação em potenciais hídricos reduzidos, levando em conta reduções tanto na porcentagem quanto na taxa de germinação, enquanto os potenciais hídricos diminuem nas plantas em geral (GUMMERSON, 1986; BRADFORD, 1990).

O modelo hidrotérmico e de temperatura ótima foram combinados em um modelo que descreve os padrões de germinação de sementes em temperaturas sub-ótimas e potenciais hídricos reduzidos. Assim, o tempo de germinação na temperatura sub-ótima e potencial hídrico podem ser descritos com precisão (ALVARADO & BRADFORD, 2002).

O modelo LQSIM EMERGE, desenvolvido por Roman (1998), acumula temperatura para os processos de germinação e emergência quando o potencial hídrico está acima do potencial hídrico base. Dessa forma, modelos que integrem essas variáveis podem ser empregados, por exemplo, na tomada de decisão sobre o emprego de herbicidas pós-emergentes nas culturas, com vistas a uma única aplicação, reduzindo assim, o uso desses agrotóxicos (FORCELLA et al., 1993).

Modelos que predizem a resposta de sementes quanto a temperatura e à umidade ajudam a definir as taxas, porcentagem final

e a dispersão no tempo de germinação para muitas espécies (GRUNDY, 2003).

A habilidade de prever a emergência da planta daninha ajudaria na otimização do tempo de operação de controle da mesma, na melhoria da eficácia da estratégia de controle e na redução do uso de herbicidas, através da adoção do manejo integrado das plantas daninhas, combinando práticas culturais e controles biológico, físico e químico (LEBLANC et al., 2003).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no laboratório de Fisiologia Vegetal e no campo experimental da Embrapa Trigo e da Universidade de Passo Fundo, em Passo Fundo, RS.

3.1 Experimento 1 – Determinação das temperaturas cardeais e potencial hídrico base para predição do modelo LQSIM-Emerge

Visando a obtenção dos parâmetros necessários (temperatura ótima, sub e supra-ótima e potencial hídrico base) para a predição modelo LQSIM-Emerge, os efeitos de nove termoperíodos e oito potenciais hídricos na germinação da corda-de-viola foram avaliados. O experimento foi conduzido em condições de ambiente controlado, em desenho experimental de delineamento completamente casualizado, com quatro repetições. Os termoperíodos foram 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 e 40 (42,5) e 49,2 e 45 (47,5) °C alternando-se durante 14 e 10 horas, respectivamente. Essas condições são semelhantes àquelas que ocorrem no ambiente local. Os potenciais hídricos utilizados foram 0, -0.03, -0.06, -0.1, -0.2, -0.4, -0.6 e -0,9 MPa.

Para o preparo dos potenciais hídricos utilizou-se polietileno glicol 8000 (PEG) para criar soluções com diferentes potenciais, de acordo com HARDEGREE & EMMERICH (1994). Este composto foi usado porque ele não causa nenhuma interferência com respeito ao efeito salino sobre 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 da parte aérea e radicular (PILL & FINCH-SAVAGE, 1988; HARDEGREE & EMMERICH, 1994).

Para cada tratamento utilizou-se 100 sementes, que foram colocadas em placa de petri de 10 cm de diâmetro, com papel filtro, constituindo assim a unidade experimental. Dez mililitros de uma das oito soluções de potencial hídrico foram então adicionados. As placas de petri foram enroladas com saco plástico preto e colocadas em germinador de semente 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).

Estas 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 percentagem do número total de sementes viáveis (THOMAS et al., 1994).

Para determinar se houve diferença significativa entre os diferentes 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 a análise comparativa pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

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),

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

onde 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). Este 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 percentagem (50% por exemplo), foi então calculado de cada curva de germinação usando um formula derivada da função Weibull.

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

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 termo período, abaixo e acima da temperatura observada a - 0,03 MPa (capacidade de campo) foi plotada contra a temperatura, resultando em duas equações regressão independentes (DUMUR et al.1990).

A temperatura base e a máxima foram estimadas pela intercepção de cada linha de regressão com a abscissa. A temperatura ótima (t_o) foi calculada da intercepção dessas duas linhas de regressão (DUMUR et al.,1990). Usando os interceptos e a inclinação dessas duas equações de regressões:

$$T_o = (a_2 - a_1)/(b_1 - b_2)$$

O potencial hídrico base foi calculado, plotando a taxa de 50% de germinação para cada termo período 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).

Essas estimativas referem-se à porcentagem estabelecida de 50 %. Contudo, interações entre potencial hídrico base para um dado percentil de temperatura ou entre temperatura base e potencial hídrico, ocorre 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).

Para obter um potencial hídrico base e uma temperatura base representativa da população, usou-se o procedimento descrito de ELLIS et al., (1987). Para a temperatura base, a resposta da germinação ao tempo térmico na faixa sub-ótima de temperatura $[(T - T_b)t_{50}]$ foi determinado pelo procedimento estatístico “Probit” análise (SAS, 1990), no qual a temperatura base foi fixada entre os valores

8,5 a 10,5 e incrementos de 0,5 °C. A melhor estimativa é aquela que dá o menor desvio dos resíduos (COLLET, 1994). O mesmo procedimento foi utilizado para calcular a temperatura máxima e para 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 para calcular o 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 calcular temperatura ótima e a temperatura máxima usando a faixa de temperatura supra-ótima para calcular o tempo térmico para 50% de germinação, assim como para estimar o potencial hídrico base. Esses valores de temperatura base, temperatura ótima e 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:

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

Onde, 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 (ROMAN, 1998).

3.2 Experimento 2 - Determinação das temperaturas cardiais no processo de alongação da parte aérea e radícula de corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*)

No experimento 2 foram testados os mesmos termoperíodos e o potencial hídrico zero (água pura) apresentados no experimento 1, com o objetivo de determinar as temperaturas cardiais envolvidas no processo de alongação da parte aérea e radícula de corda-de-viola. Os parâmetros obtidos foram utilizados para calibrar o modelo LQSIM-Emerge (ROMAN et al., 2000). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições, utilizando-se câmaras de crescimento, da Embrapa Trigo, em Passo Fundo, RS.

As sementes foram pré-germinadas à temperatura ambiente, próxima a 25 °C, em placas de petri, utilizando como substrato papel filtro Whatman n° 3, umedecido em água destilada. Quando a radícula apresentou 1 mm, as plântulas foram transferidas para placas de petri contendo ágar (10 plântulas em cada placa). As

plântulas foram alinhadas ao longo do diâmetro da placa. As placas foram fechadas com papel alumínio e colocadas verticalmente nas câmaras, de modo que as radículas ficassem orientadas para baixo. Este procedimento permitiu medições diretas da parte aérea e da radícula, sem destruição da amostra (ADDAE & PEARSON, 1992; 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, 1999).

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 por DRACUP et al. (1993). Para 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.

3.3 Experimento 3 - Determinação da taxa de emergência de plântulas de corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*) na cultura da soja.

Os experimentos foram arranjados em delineamento experimental de blocos ao acaso e quatro repetições. Os níveis de cobertura do solo constituíram-se de 0; 3,4; 6,8 e 10,2 toneladas de matéria seca de aveia-preta por hectare, produzida na área experimental, e colocadas na parcelas. As parcelas experimentais mediram 2 m por 2 m, e foram estabelecidas durante o período de semeadura de soja nos anos de 2003/2004 e 2004/2005. A cultivar de soja semeada foi a COODETEC 206. Os experimentos foram conduzidos no campo experimental da Embrapa Trigo e no campo experimental da Universidade de Passo Fundo (Cepagro), em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico.

A semeadura de corda-de-viola foi feita de forma manual, a lanço, após a superação da dormência. A cultura da soja foi semeada mecanicamente sobre as quantidades de palha de aveia-preta estabelecidas para cada tratamento. Foram coletados os dados de temperatura e de precipitação pluvial na estação meteorológica, os quais foram usados para estimar através do modelo, os níveis de temperatura e umidade do solo.

As avaliações da emergência das plantas daninhas foram efetuadas diariamente, pela contagem de número de plantas em 4 quadrados fixos de 1 m² em cada parcela durante o período crítico de competição entre a cultura e as plantas daninhas. A emergência cumulativa, dos dois anos de experimento conduzido no campo experimental da UPF e da Embrapa, em Passo Fundo, RS, foi plotada

contra o tempo térmico para emergência e modelado por uma função Weibull modificada (ROMAN, 1998).

Para determinação do tempo térmico utilizou-se a média cumulativa de emergência das plântulas de corda-de-vilão de cada tratamento e de cada dia, através da temperatura base, ótima e máxima, calculadas para a parte aérea, juntamente com a temperatura média do dia, retirada da estação meteorológica. Os tempos térmicos obtidos foram utilizados na predição do modelo LQSIM-Emerge.

Foi feita também a análise de variância para os valores de índice de velocidade de emergência (IVE), como sugerida por POPINIGIS (1977) onde: $IVE = N_1/D_1 + N_2/D_2 + N_n/D_n$; onde: N_1 = número de plântulas emergidas no primeiro dia; N_n = número acumulado de plântulas emergidas; D_1 = primeiro dia de contagem; D_n = número de dias contados após a semeadura, (FLECK et al., 2003).

3.4 Simulação da época de emergência de *Ipomoea grandifolia*

As simulações foram realizadas usando o modelo LQSIM EMERGE (ROMAN, 1998). Esse modelo baseia-se no modelo CROPSIM, desenvolvido por Hunt & Pararajasingham, (1995), no qual as modificações foram introduzidas para incluir algoritmos para simular a germinação e emergência de plantas daninhas. Ele possui vários arquivos e módulos. Os arquivos são os referentes aos detalhes do experimento conduzido a campo, os dados obtidos a campo, os coeficientes relativos a cultivar e a espécie quando for o caso, e os dados de climas e de solo. O centro do modelo são os algoritmos, os quais descrevem a ordem em que o programa executaria funções

individuais para chegar a solução do processo. O modelo fornece um “output” que se refere aos resultados da simulação.

O modelo é composto por algoritmo que computa a germinação e a emergência em função das variáveis ambientais, temperatura e umidade. O modelo supõe que a germinação de sementes e a alongação da parte aérea e da radícula são processos contínuos, mas separados. A interação entre temperatura e umidade é considerada o fator que controla a taxa de germinação (FINCH-SAVAGE & PHELPS, 1993).

O modelo foi rodado, com os parâmetros obtidos nos experimentos conduzidos em campo e sob condições controladas; após, o modelo foi validado com os resultados obtidos a campo.

3.5 Teoria e desenvolvimento do modelo LQSIM-Emerge

Uma vez que o crescimento da radícula foi iniciado, a parte aérea pode alongar em direção a superfície do solo, numa taxa orientada pela temperatura, mesmo num solo seco (CARBERRY & CAMPBELL, 1989; WHEELER & ELLIS, 1991; FINCH-SAVAGE & PHELPS, 1993). Segundo Roman (1998), o tempo hidrotérmico (θ_{HT}), expresso em MPa, é função do tempo hidrotérmico ($\theta_H = \Psi - \Psi_b$) e do tempo térmico (θ_T), descrito pelas equações

($\theta_{HT} = \theta_H * \theta_T$ onde o tempo térmico é expressa de acordo com HAMMER et al. (1993).

$$\theta_H = \Psi - \Psi_b, \text{ quando } \Psi > \Psi_b \text{ e, de outra forma, } \theta_H = 0$$

$$\theta_T = T - T_b, \text{ quando } T_b < T < T_{opt}$$

$\theta_T = \{ (T_{opt} - T_b) [1 - (T - T_{opt}) / (T_{max} - T_o)] \}$, quando
 $T_{opt} < T < T_{max}$, portanto $\theta_H = 0$

Dentro do modelo, o tempo térmico foi usado para sinalizar que as condições para a germinação de uma fração da população foram adequadas e que a alongação da parte aérea estava por ocorrer. O tempo térmico, expresso em graus dias, ($^{\circ}$ gd) é, então, acumulado numa base diária, resultando em incrementos no crescimento da parte aérea em função da temperatura do solo. Este modelo assume que a germinação cessara se a umidade do solo tornou-se limitante, isto é, se o potencial hídrico estive abaixo do potencial hídrico base à germinação só recomeçou quando a umidade do solo não era limitante (FINCH-SAVAGE & PHELPS, 1993).

O processo da emergência da plântula (E) foi calculado com a função do tempo térmico (θ_{Tet}), para a emergência de uma população (c) num dado tempo (t) a uma taxa específica da emergência (K). Esta relação foi expressa pela equação:

$$Eck(t) = \sum_{t=1}^n (\theta_{Tet});$$

Onde t = tempo (em dias);

θ_{Tet} = tempo térmico para a emergência

O tempo térmico é calculado usando-se as temperaturas cardeais para a alongação da parte aérea. Essa equação é apropriada quando a umidade do solo é suficiente para ocorrer a germinação, isto é, quando $\theta_{HT} > 0$ (i.e. $\Psi > \Psi_b$ e $T > T_b$). Quando o solo seca, $\theta_{HT} = 0$ (i.e. $\Psi < \Psi_b$ e $T < T_b$) a extensão que o tempo térmico foi acumulado durante o período em que o conteúdo do solo úmido estava abaixo do

Ψ_b foi determinado pela taxa de alongação da parte aérea (r_s) em mm por dia.

$$\sum_{t=1}^n \theta_{Ter} = f(r_s)$$

A taxa da alongação da parte aérea foi definida com uma equação de segunda ordem ($Y = a + bx + cx^2$).

O modelo foi rodado usando os parâmetros obtidos nos experimentos conduzidos em condições controladas e a campo. O acúmulo de tempo térmico no período seco foi expresso por:

$$\sum_{t+1}^{t+n} (\theta^{tet})$$

onde (t + 1) é o tempo quando o período seco começou e (t + n) é o tempo necessário que a parte aérea atinja 2,5 cm de comprimento, assumindo essa a profundidade máxima de emergência de corda-de-violão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A predição da época de emergência de plantas daninhas é útil no emprego de medidas de manejo dessas espécies, sendo o momento em que ocorrem 80% de emergência de plantas daninhas é considerado como a época ideal para intervir com medidas de controle (FORCELLA et al., 1993).

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; ROMAN, 1998). Dessa forma, modelos de simulação do processo, que integrem essas variáveis podem ser empregados, por exemplo, na tomada de decisão sobre o emprego de herbicidas pós-emergentes nas culturas, com vistas à redução do uso desses agrotóxicos.

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. A germinação é regulada pela temperatura e pelo potencial hídrico do solo, enquanto a alongação da radícula e do hipocótilo são reguladas pela temperatura (GUMMERSON, 1986; CARBERRY & CAMPBELL, 1989; FYFIELD & GREGORY, 1989).

4.1 Experimento 1 – Determinação da temperatura e do potencial hídrico na germinação de corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*)

A comparação entre as taxas de germinação obtidas após a aplicação dos diferentes tratamentos foi avaliada pelo teste F, ao nível de 5% de significância. De acordo com os resultados da análise de variância, ambos os fatores, temperatura e potencial hídrico, influenciaram a germinação da corda-de-viola (Tabela 1A). Verificou-se que houve efeito significativo entre as diferentes temperaturas e potenciais hídricos na germinação.

A comparação entre as médias dos tratamentos foi avaliada pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 1B). Entre os diferentes níveis de potenciais testados, houve uma redução acentuada no vigor das sementes causada pelo decréscimo dos níveis de potencial osmótico das soluções, principalmente a partir de (-0,1). Como pode ser observada pelas médias dos tratamentos, a germinação foi maior no potencial osmótico menor (0). Os potenciais (-0,03, -0,06) apresentaram um comportamento elevado no entanto imediatamente inferior ao potencial osmótico (0).

Os potenciais (-0,2; -0,4) apresentaram um comportamento intermediário, enquanto que os potenciais (-0,6 e -0,9), apresentaram o pior desempenho quando submetido às mesmas condições de estresse. O decréscimo observado na germinação das sementes à medida que aumentou as concentrações do potencial

osmótico está de acordo com os resultados obtidos por outros autores (SÁ, 1987; SANTOS, 1994).

A redução dos processos metabólicos durante a germinação deve-se não só à sensibilidade das sementes à variação do potencial hídrico, mas também à natureza da substância indutora, que, muitas vezes, apresenta efeitos mais tóxicos que osmóticos sobre a germinação (PRISCO & O'LEARY, 1970). No caso do polietilenoglicol 8000, utilizado nesse trabalho, não há riscos 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, podem comprometer a disponibilidade de oxigênio para as sementes (HASEGAWA ET AL., 1984; 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 (Wenkert et al., 1978), e a redução do crescimento como consequência da diminuição do

alongamento celular seria causada por um decréscimo na turgescência dessas células (HSIAO, 1973).

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

Entre os diferentes níveis de temperaturas testadas, a germinação das sementes foi nula em temperaturas inferiores a 7,5 ° C e superiores a 47,5 ° C. O maior vigor das sementes foi observada na temperatura 27,5 °C, sendo na temperatura 22,5 ° C a germinação foi intermediário.

Variações na germinação das sementes foram dependentes de ambas as variáveis, sendo que as respostas dos diferentes níveis de potenciais hídricos testados foram dependentes dos diferentes níveis de temperaturas testados 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 foi água (0), enquanto que os piores potenciais hídricos foram (-0,6 e -0,9). Nestes potenciais hídricos, somente nas temperaturas 22,5 e 27,5 ° C, a germinação ocorreu. Entre os diferentes potenciais testados.

Tabela 1 B – Germinação de corda-de-violão (*Ipomoea grandifolia*) em função dos tratamentos, potenciais hídricos e temperatura. Passo Fundo, 2003/2004

Temperatura \ Potencial	0	-0,03	-0,06	-0,1	-0,2	-0,4	-0,6	-0,9	Valores de F	CV %
7,5	0,000 a C	0,000 a C	0,000 a C	0,000 a D	0,000 a D	0,000 a B	0,000 a C	0,000 a C	0,00 ns	0,00 ns
12,5	10,750 a A B C	9,250 a b B C	3,137 a b B C	5,750 a b c C D	4,000 b c C D	1,500 c B	0,000 c C	0,000 c C	10,36 **	53,4 **
17,5	22,500 a A B	19,500 a A B	4,293 a A B	15,250 a A B	14,500 a A B C	12,750 a A	0,000 b C	0,000 b C	12,84 **	36,9 **
22,5	23,250 a A B	17,750 a b A B	4,779 a b A	18,000 a b A	15,250 a b c A B	14,250 a b c A	10,500 b c B	4,750 c B	5,7 **	31,06 **
27,5	24,250 a A	22,500 a A	4,6997 a b A	20,750 a b A	20,000 a b A	17,250 a b A	15,000 a b A	7,500 b A	3,23 **	31,92 **
32,5	22,250 a A B	20,500 a A	4,5048 a A	16,250 a b A B	7,000 b c B C D	3,250 c B	0,000 c C	0,000 c C	20,61 **	37,80 **
37,5	18,000 a A B	16,500 a A B	4,0229 a A B	14,500 a b A B C	6,250 b c B C D	3,000 c B	0,000 c C	0,000 c C	19,2 **	38,31
42,5	10,500 a B C	9,750 a B C	3,1543 a b B C	8,500 a b B C D	5,000 b c B C D	2,750 c d B	0,000 d C	0,000 d C	19,41 **	34,70
47,5	0,000 a C	0,000 a C	0,000 a C	0,000 a D	0,000 a D	0,000 a B	0,000 a C	0,000 a C	0,00 ns	0,00 ns
Valores 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% de significância.

As respostas da germinação das sementes nos diferentes tratamentos forneceram indicações das faixas sub e supra-ótima 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, estimada por esse procedimento estatístico (“Probit” análise), constam na Tabela 2. Esses valores foram usados para calcular o tempo hidrotérmico.

Tabela 2 – Estimativas de temperaturas cardeais (°C) e potencial hídrico base (Mpa) para a germinação de corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*), por meio da análise de “Probit” Embrapa Trigo, 2003/04

Parâmetro	Valores estimados
Temperatura mínima ° C	9,0
Temperatura ótima ° C	27,1
Temperatura máxima ° C	51,3
Potencial hídrico base Mpa	-0,90

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, 1998). Alta variabilidade nessas estimativas também foi

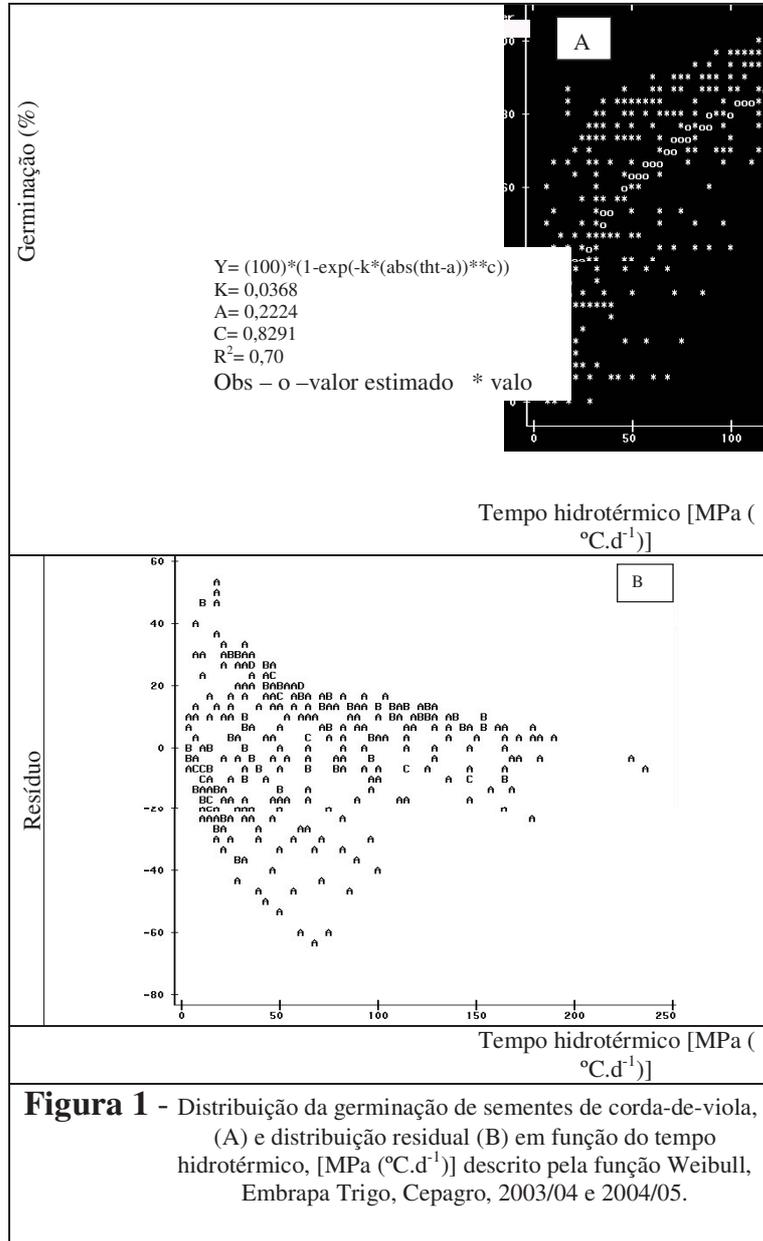
reportada para *Vigna radiata* (FYFIELD & GREGORY, 1989) e para *Vicia faba* (DUMUR et al., 1990). Essa variabilidade dentro da população é sobrepujada através do procedimento estatístico de “Probit” análise (ELLIS et al., 1987).

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, pode-se estimar as temperaturas cardeais e o potencial hídrico base para toda a população de sementes de corda-de-viola, como foi observado por Roman et al. (1999), em um estudo em que determinou os efeitos desses fatores na germinação de sementes de *Chenopodium album*.

A curva do tempo de germinação (Figura 1 A) 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 1 B), os quais não apresentam padrão definido de distribuição (KUEHL, 1994).

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 através de faixas de temperaturas e potencial hídrico.

Alguns modelos que descrevem as germinações cumulativas, baseadas no tempo térmico têm limitações ao modelar a germinação sob condições de umidade limitada. No campo, uma espécie vegetal com temperatura base elevada, experimentaria 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.



4.2 - Experimento 2 - Determinação das temperaturas cardeais no processo de alongação da parte aérea e radícula de corda-de-violão (*Ipomoea grandifolia*)

As temperaturas cardeais para a alongação 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 sub-ótima e a faixa supra-ótima (Tabela 3).

Para a parte aérea, a temperatura ótima foi 25,7 °C, a temperatura mínima em 15,4 °C e a máxima em torno de 52 °C. Para a parte radicular, a temperatura ótima foi de 16,3 °C, a temperatura mínima em 4,3 °C e a máxima em torno de 34,0 °C (Tabela 4). A diferença nos valores obtidos pode ser atribuída em função de fatores ambientais tais 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 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, 1998).

A temperatura fora da faixa ótima reduz na taxa de crescimento da parte aérea e da parte radicular (WHALLEY et al., 1999 e ROMAN et al., 2000). Os parâmetros obtidos no presente experimento foram usados para calibrar o modelo LQSIM EMERGE, desenvolvido por ROMAN et al., 2000.

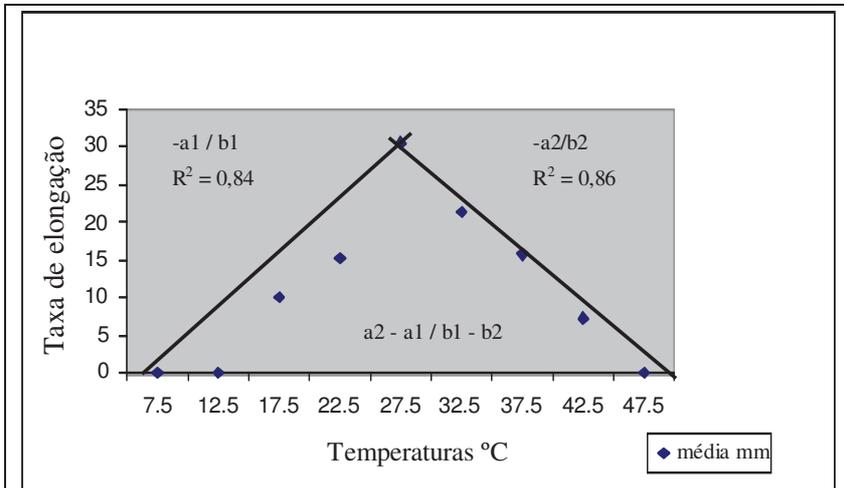


Figura 2 - Efeito da temperatura na taxa de alongação da parte aérea de corda-de-viola, Embrapa Trigo, 2003/04.

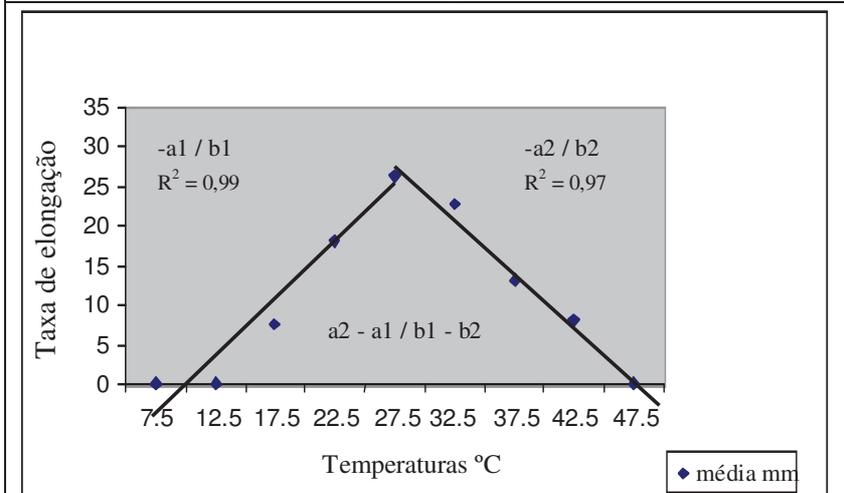


Figura 3 - Efeito da temperatura na taxa de alongação da radícula de corda-de-viola, Embrapa Trigo, 2003/04.

Tabela - 3 Parâmetros para determinar as temperaturas cardeais da parte aérea e radicular, Embrapa Trigo, 2003/04

Temperatura	Parte aérea	Parte radicular
Base-sub-ótima	a1 = -1.85 ,b1 = 0.12	a1 = 1.83, b1 = -0.42
Máxima-supra-ótima	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

Tabela - 4 Valores estimados de temperaturas cardeais (°C) para os processos de alongação da parte aérea e da radícula, de corda-de-violão (*Ipomoea grandifolia*), Embrapa Trigo, 2003/04

Parâmetro	Valores estimados	
	Parte aérea	Radícula
Temperatura mínima	15,4 °C	4,3 °C
Temperatura ótima	25,7 °C	16,3 °C
Temperatura máxima	52,0 °C	34,0 °C
Potencial hídrico base	-0,90 Mpa	-0,90 Mpa

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 foi descrita pela equação $y = -10,86 + 1,09988x - 0,018x^2$ ($R^2 = 0,72$).

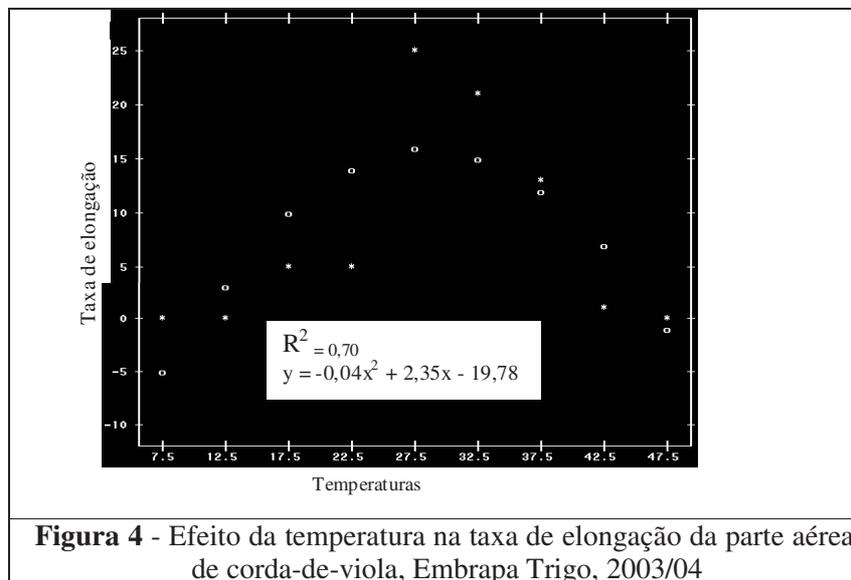


Figura 4 - Efeito da temperatura na taxa de alongação da parte aérea de corda-de-viola, Embrapa Trigo, 2003/04

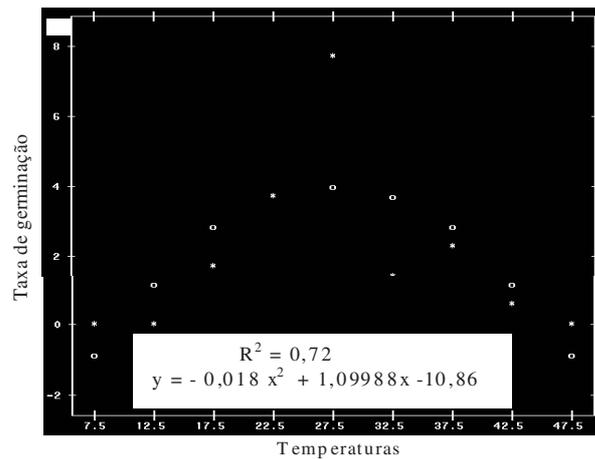


Figura 5 - Efeito da temperatura na taxa de alongação da radícula de corda-de-viola, Embrapa Trigo, 2003/04

4.3 Experimento 3 – Determinação da taxa de emergência de plântulas de corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*) na cultura da soja.

A partir dos valores de germinação das sementes de corda-de-viola nas diferentes quantidades de palha da aveia preta, foi possível determinar o IVE. Considerando a análise de variância, não houve efeito significativo da quantidade de palha de aveia-preta, em ambos os anos de experimentação 2003/2004 (Figura 6) e 2004/2005 (Figura 7). Estes resultados não eram esperados uma vez que o tipo de cobertura é um fator de suma importância na germinação. O tipo de cobertura empregado, mesmo em quantidades similares, pode levar as respostas distintas na germinação de uma mesma espécie de planta daninha. Isso pode ser justificado pela suas constituições químicas,

associadas ou não às propriedades alelopáticas, e até mesmo pela geometria do resíduo vegetal, que condicionará uma cobertura mais eficiente do solo.

Embora seja conhecido que a palhada interfere na emergência e crescimento das plantas daninhas, o resultado obtido discorda dos resultados apresentados por Bilalis et al. (2003), que encontrou diferenças significativas entre os tratamentos com e sem palha, na emergência de *Amaranthus retroflexus*. Essas diferenças provavelmente podem ser atribuídas as diferentes condições, já que o processo de emergência varia, principalmente, com a temperatura e a umidade do solo (ROMAN et al., 1999).

O emprego de práticas conservacionistas de produção agrícola, os quais têm como principal característica a redução no revolvimento do solo, aliado à manutenção de resíduos das culturas sobre a superfície, tem se elevado nas últimas décadas (THEISEN et al., 2000). A cobertura morta desempenha papel importante no controle de plantas daninhas, pois, a germinação não ocorre se as sementes forem encobertas por uma camada uniforme de palha, germinando assim após a quebra de dormência e decomposição da palha (ROMAN & VELLOSO, 1993).

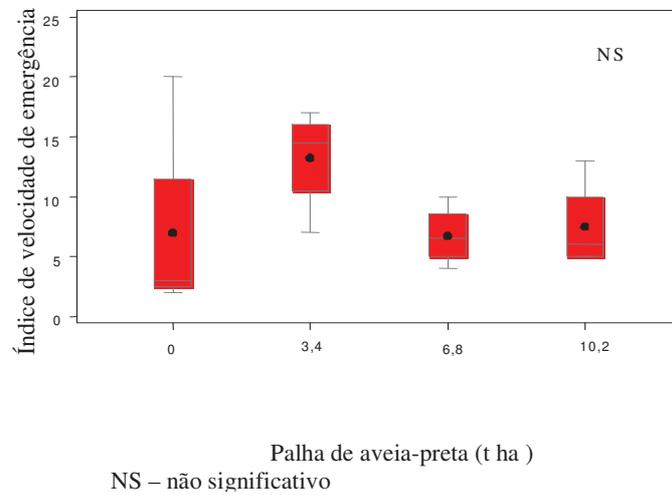


Figura 6– Índice de velocidade de emergência de corda-de-viola em função de palha de aveia-preta, Embrapa Trigo e Cepagro, no ano agrícola 2003/04.

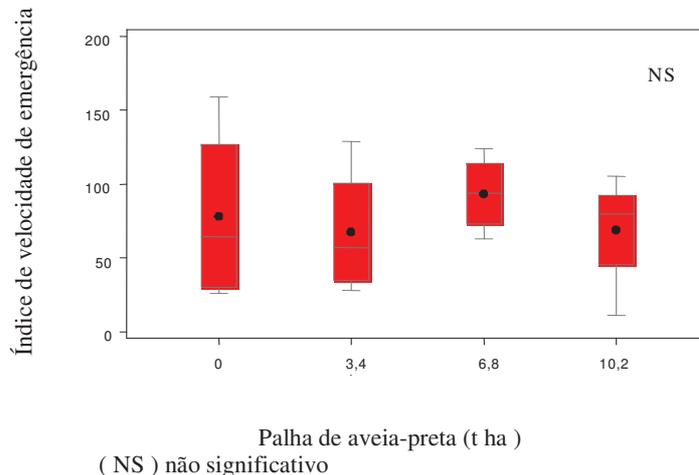
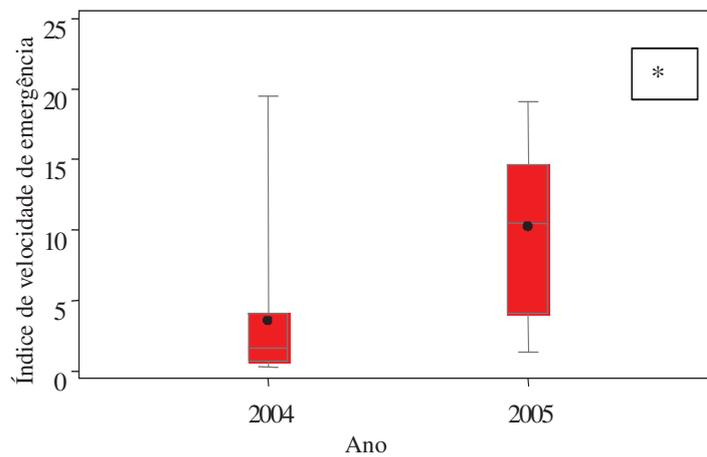


Figura 7 – Índice de velocidade de emergência de corda-de-viola em função de palha de aveia-preta, Embrapa Trigo e Cepagro, no ano agrícola 2004/05.

Embora não tenha havido diferença significativa entre o índice de velocidade de emergência da corda-de-viola com e sem cobertura, a comparação entre os índices de emergência entre os anos 2003/04 e 2004/05 revelou um acréscimo significativo na germinação de corda-de-viola no segundo ano de experimento (Figura 8). Estas diferenças quanto à emergência entre os anos pode ser atribuída às diferenças de condições de ambiente ocorridas, já que o ano de 2004/2005 foi relativamente mais quente e seco do que o ano de 2003/2004.



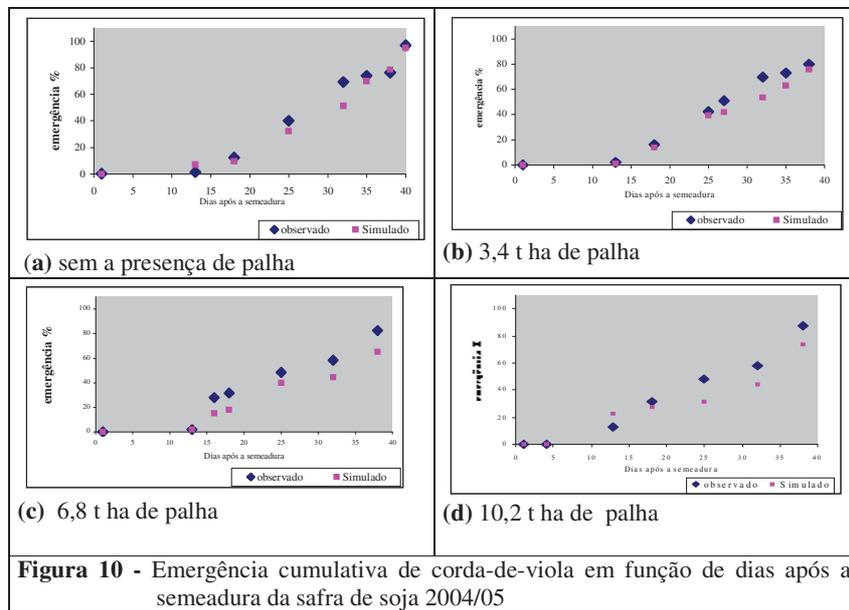
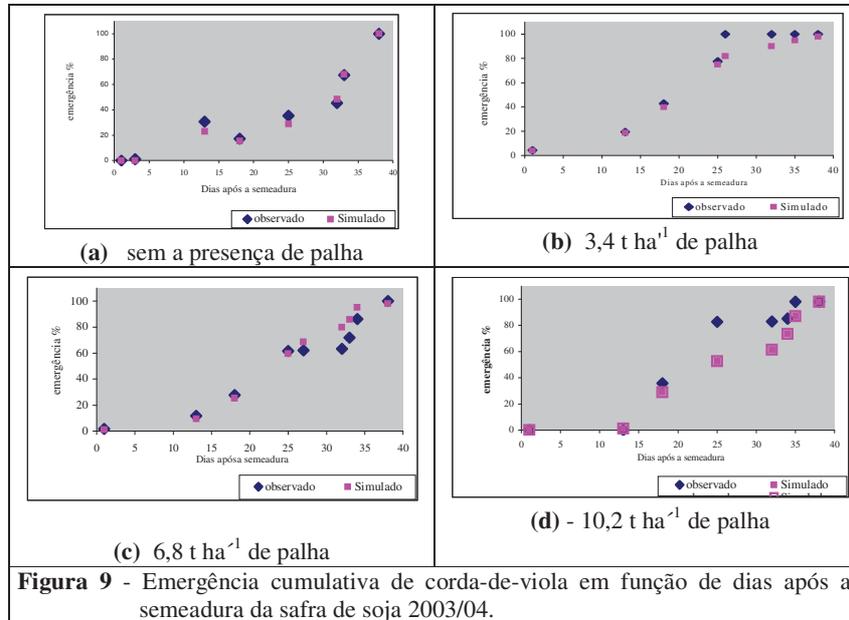
(*) significativo

Figura 8 – Índice de velocidade de emergência de corda-de-violão em função de anos, na média de níveis de palha aveia-preta, Embrapa Trigo e Cepagro, no ano agrícola 2003/04 e 2004/05.

4.4 Simulação da época de emergência de *Ipomoea grandifolia*, utilizando o modelo LQSIM-Emerge

O modelo matemático utilizado descreveu os processos de germinação e alongação do hipocótilo e da radícula dessa espécie, em termos de tempo hidrotérmico e temperatura, respectivamente. Os parâmetros obtidos foram usados no modelo LQSIM-Emerge, o qual foi validado e demonstrou que pode ser usado para prever a germinação e a emergência de plantas daninhas em condições de campo (Figuras 9 (a -d) e 10 (a - d)).

Assim, comparando os mesmos tratamentos em anos diferentes, verifica-se que o modelo LQSIM-Emerge foi relativamente preciso na predição da emergência da espécie independente do ano. Por exemplo, no tratamento sem palha, em diferentes anos, (Figuras 9 a e 10 a) e no tratamento com 3,4 toneladas de palha (Figuras 9 (b) e 10(b)), o nível de 80% de emergência foi atingido entre 30 e 40 dias após a semeadura da cultura em todos os anos testados. No tratamento com 6,8 toneladas de palha (Figuras 9 (c) e 10 (c)), o nível de 80% de emergência foi atingido entre 27 e 37 dias após a semeadura. Já no tratamento com 10,2 toneladas de palha (Figuras 9 (d) e 10 (d)), o nível de 80% de emergência da plântula de corda-de-viola encontrou-se entre 25 a 40 dias após a semeadura da cultura. Essas diferenças entre os tratamentos, embora não tenham sido significativas, podem ser atribuídas ao efeito das diferentes quantidades de palha, as quais podem alterar o ambiente do solo, em termos de temperatura e umidade (ALMEIDA, 1991).



Embora a palha de aveia-preta não tenha reduzido significativamente o número de plantas emergidas nas diferentes quantidades testadas, esta prática vem sendo largamente utilizada e tem se mostrado forte aliada no controle de diferentes plantas daninhas. No entanto, ainda são escassas pesquisas sobre o efeito da palha de aveia-preta sobre a infestação de corda-de-viola, de modo que os resultados obtidos são preliminares (Fornarolli et al., 1998). Outros fatores não abordados no experimento podem ter influenciado os resultados.

Embora a palha possa influenciar negativamente a germinação de sementes, esta também pode favorecer algumas espécies de plantas daninhas, através da redução na amplitude de variação térmica diária do solo, da conservação da umidade do solo ou, ainda, das melhorias químicas, físicas e biológicas do solo, além da possível eliminação de substâncias alelopáticas, com a decomposição da cobertura morta, que poderia contribuir para a quebra da dormência de sementes. Assim, nos maiores níveis de palha, a planta daninha seria ainda mais beneficiada, extraindo da palha vantagens adaptativas.

Esse modelo se mostrou adequado para determinar a emergência dessa espécie de planta daninha e servirá como uma ferramenta para a tomada de decisões sobre o emprego de medidas de controle em função desse fenômeno biológico. A sua inserção em modelos de desenvolvimento de plantas cultivadas auxiliará na predição de perdas de produtividade devido a plantas daninhas e na influência, orientação sobre o manejo dessa espécie.

5 -CONCLUSÕES

A temperatura e a umidade interferem na germinação de corda-de-viola. A partir da resposta da germinação das sementes em diferentes níveis de temperatura e potenciais hídricos, foi possível estimar pelo procedimento estatístico “Probit” análise as temperaturas cardeais, ótima igual a 27,1 °C, mínima igual a 9 °C e máxima igual a 51,3 °C , enquanto o potencial hídrico base foi de – 0,90 MPa.

A curva do tempo de germinação obtida $Y = (100) * (1 - \exp(-0,0368 * (\text{abs}(t - 0,2224))^{0,8291}))$, predita pelo modelo do tempo hidrotérmico ajustou adequadamente ($R^2 = 0,70$) a fenologia da germinação de sementes de corda-de-viola. O modelo foi considerado apropriado para descrever o fenômeno da germinação, com base no padrão de distribuição dos resíduos experimentais.

Os processos de alongação da parte aérea e da radícula são determinados pela temperatura, uma vez que o processo de germinação tenha sido iniciado. Os pontos cardeais de temperatura mínima, ótima e máxima para a alongação da parte aérea foram 15,4 °C, 25,7 °C e 52,0 °C, enquanto que para a radícula foram 4,3 °C, 16,3 °C e 34,0 °C, respectivamente.

A taxa de alongação da parte aérea de corda-de-viola em função da temperatura pode ser descrita pela equação: $y = -0,04x^2 + 2,35x - 19,78$, enquanto a taxa de alongação da parte radicular pela equação $y = -10,86 + 1,09988x - 0,018x^2$. Ambas as equações descreveram cerca de 70% da variação da taxa de alongação

respectivas, à medida que alterações na variável independente eram testadas.

Os valores de germinação das sementes de corda-de-viola a campo, sem palha e em diferentes quantidades de palha da aveia preta, cultivada conjuntamente com a cultura da soja, não apresentaram efeito significativo em ambos os anos de experimentação 2003/2004 e 2004/2005.

O modelo mecanístico LQSIM – Emerge que se baseia nos processos biológicos de germinação e emergência em função das variáveis ambientais, pode ser usado para prever a germinação e emergência de plântulas de corda-de-viola. O modelo integra o tempo hidrotérmico para descrever a germinação e o tempo térmico para a emergência. Os coeficientes, parâmetros obtidos fornecem estimativas confiáveis para a validação do modelo. Deste modo, os resultados permitem concluir que o modelo LQSIM Emerge apresenta-se como uma ferramenta de utilidade para o manejo da corda-de-viola na cultura da soja.

Recomenda-se o uso do modelo em sistemas de manejo integrado, com a conseqüente redução dos riscos econômicos e ambientais no uso de herbicidas.

Trabalhos adicionais devem ser realizados para contribuir com a evolução do modelo, ampliando o uso para espécies de importância econômica que ainda não foram estudadas.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDAE, P. C.; PEARSON, C. J. Thermal requirements for germination and seedling growth of wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 43. p. 585-594, 1992.
- ALMEIDA, F. S. Controle de plantas daninhas em plantio direto. Londrina: IAPAR, 1991, 34p. (Circular Técnica).
- ALVARADO, V.; BRADFORD, J. K. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant, Cell & Environment*, v. 25. p. 1061-1071, 2002.
- BAHLER, C., HILL Jr., BYERS.R.A; Comparison of logistic and Weibull functions: the effects of temperature on cumulative germination of alfalfa. *Crop Science*, v. 29 p. 142-146, 1989.
- BENECH-ARNOLD, R. L.; GHERSA, C. M.; SANCHEZ, R. A. Temperature effects on dormancy release and germination rate in *Sorghum halepense* (L.) Per. seeds: a quantitative analysis. *Weed Research*, v. 30. p. 81-89, 1990.
- BETHA, R. M.; DURAN.; BOULLION. Statistical methods for *engineers and scientists*. Marcell Deckker, N. York. P. 305-362, 1995.
- BEWICK, T. A.; BINNING, L. K.; YANDELL, B. A degree day model for predicting the emergence of swamp dodder in cranberry. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, v. 113. p. 839-841, 1988.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. *Physiology of development and germination*. New York: Plenum Press, 1994. 445 p.
- BILALIS, D.; SIDIRAS, N.; ECONOMOU, G.; VAKALI, C. Effects of different level of wheat straw soil surface coverage on weed flora in *Vicia faba* crops. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v. 189. n. 4, p. 233-241, 2003.
- BRADFORD, K. J. A water relationship analysis of seed germination rates. *Plant Physiology*, v. 94. p 840-849, 1990.
- BRADFORD, K. J. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, v. 50. p 248-260, 2002.
- CAMPOS, I.S.; ASSUNÇÃO, M.V. Estresse salino e hídrico na germinação e vigor do arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.25, n.6, p.857-862, jun. 1990.

- CARBERRY, P. S.; CAMPBELL, L. C. Temperature parameters useful for modeling the germination and emergence of pearl millet. *Crop Science*, v. 29. p. 220-223, 1989.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. Campinas, Fundação Cargill, 1980. 326p.
- COLLET, D. Modelling survival data in medical reseaech. Chapman & Hall. New York. p. 71-78, 1994.
- CORREIA, N. M; REZENDE, P. M. Manejo integrado de plantas daninhas na cultura da soja. Lavras: Editora UFLA, 2002. (Boletim Agropecuário, 51).
- DAHAL, P, & BRADFORD, K.J.; Hidrothermal time analysis on tomato seed germination at suboptimal temperature and reduced water potential. *Weed Science*, v. 4. 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 Science*, v. 46. p. 555-560, 1998.
- DUMUR, D.; PILBEM. C. J.;CRAIGON. J. Use of the weibull function to calculate cardinal temperatures in faba ben. *Journal of Experimental Botany* v.41. p.1423-1430, 1990.
- DRACUP, M.; DAVIS, C.; TAPSCOTT, H. Temperature and water requirements for germination and emergence of lupin. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v. 33. 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. *Journal of Experimental Botany*, v. 38. p. 1033-1043, 1987.
- FYFIELD, T. P.; GREGORY, P. J. Effects of temperature and water potential on germination, radicle elongation and emergence of mungbean. *Journal of Experimental Botany*, v. 40, p. 667-674, 1989.
- FINCH-SAVAGE, W. E.; PHELPS, K. Onion (*Allium cepa* L.) seedling emergence patterns can be explained by the influence of soil temperature and water potential on seed germination. *Journal of Experimental Botany*, v. 44. p. 407-414, 1993.
- FLECK, G. N; BALBINOT, JR, A. A.; AGOSTINETTO, D.; RIZZARDI, M. A. Velocidade de estabelecimento em cultivares de arroz irrigado como características para aumentar a habilidade competitiva com plantas concorrentes. *Ciência Rural*, v. 33, n. 4, p. 635-640, 2003.

- FORCELLA, F. Prediction of weed seedling densities from buried seed reserves. *Weed Research*, v. 32. p. 29-38, 1992.
- FORCELLA, F. Seedling emergence model for velvetleaf. *Agronomy Journal*, v. 85. p. 929-933, 1993.
- FORCELLA, F.; ERADAT-OSKOU, K.; WAGNER, S. W. Application of weed seedbank ecology to low-input management. *Ecological Applications*, v. 3, p. 79-83, 1993.
- FORCELLA, F.; BENECH-ARNOLD, R. L.; SANCHEZ, R.; GHERSA, C. M. Modeling seedling emergence. *Field Crops Research*, v. 67, p. 123-139, 2000.
- GRUNDY, C. A. Predicting weed emergence: a review of approaches and future challenges. *Weed Research*, v. 43. p. 1-11, 2003.
- GRUNDY, C. A.; MEAD, A. Modeling weed emergence as a function of meteorological records. *Weed Science*, v. 48. p. 594-603, 2000.
- GUMMERSON, R. J. The effect of constant temperature and osmotic potential on the germination of sugar beet. *Journal of Experimental Botany*, v. 37. p. 729-741, 1986.
- HARDEGREE, S. P.; EMMERICH, W. E. Seed germination response to polyethylene glycol solution depth. *Seed Science and Technology*, v. 22. p. 1-7, 1994.
- HAMMER, G. L.; CARBERRY, P. S.; MUCHOW, R. C. Modelling genotypic and environmental control of leaf area dynamics in grain sorghum. *Fiel Crops Research*. V.33. p.293-310, 1993.
- HARVEY, S. J.; FORCELLA, F. Vernal seedling emergence model for common lambsquarters (*Chenopodium album*). *Weed Science*, v. 41. p. 309-316, 1993.
- HASEGAWA, P.M.; BRESSAN, R.A.; HANDA, S.; HANDA, A.K. Cellular mechanisms of tolerance to water stress. *HortScience*, Alexandria, v.19, n.3, p.371-377, 1984.
- HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, v.24, p.519-570, 1973.
- HUNT, L. A. & PARARAJASINGHAM, S. CROPSIM-WHEAT: A model describing the growth and development of wheat. *Canadian Journal. Plants Science*. v.75, p.619-632, 1995.

- KEBREAB, E.; MURDOCH, A. J. The effects of water stress on the temperature range for germination of *Orobanche aegyptica* seeds. *Seed Science Research*, v. 10, p. 127-133, 2000.
- KISSMANN, K. G.; GROTH, D. Plantas infestantes e nocivas. 2. ed. São Paulo: BASF, p 978, v 2, 1999.
- KUEHL, R. O. *Statistical principles of research design and analysis*. Belmont: Duxbury Press, p 686 1994.
- KRAMER, P.J. Fifty years of progress in water relations research. *Plant Physiology*, Lancaster, v.54, n.4, p.463-471, 1974.
- LEBLANC, L. M.; CLOUTIER, D. C.; STEWART, K. A.; KAME, C. The use of thermal time to model common lambsquarters (*Chenopodium album*) seedling emergence in corn. *Weed Science*, v. 51. p 718-724, 2003.
- LORENZI, H. *Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas*. 3. ed. Nova Odessa: Plantarum, 2000. 624 p.
- MEYER, S. E.; DEBEENE-GILL, S. B.; ALLEN, P. S. Using hydrothermal time concepts to model seed germination response to temperature, dormancy loss, and priming effects in *Elymus elymoides*. *Seed Science Research*, v. 10. p. 213-223, 2000.
- MOHLER, C. L. A model of the effects of tillage on emergence of weed seedlings. *Ecology Applied*, v. 3. p. 53-73, 1993.
- ORYOKOT, J. O. E.; HUNT, L. A.; MURPHY, S., SWANTON, C.J. Simulation of pigweed (*Amaranthus* spp.) seedling emergence in different tillage systems. *Weed Science*, v. 45. p. 684-690, 1997.
- PEETEN, H. Fifteen years of conservation tillage in Paraná. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS, 1990, Passo Fundo. *Conservation tillage for subtropical areas: proceedings*. Passo Fundo: CIDA; Embrapa-CNPT, 1990. p. 28-31.
- PILL, W. G.; FINCH-SAVAGE, W. E. Effects of combining priming and plant growth regulator treatments on the synchronization of carrot seed germination. *Annals of Applied Biology*, v. 113, n. 2, p. 383-389, 1988.
- POPINIGIS, F. Fisiologia da semente. Brasília: AGIPLAN, 1977. 289p.
- RALSTON, M. L.; JENNRICH, R. I. DUD, a derivative-free algorithm for non-linear least squares. *Technometrics*, v. 20. p. 7-14, 1979.

- RIZZARDI, M. A. *Nível de dano econômico para tomada de decisão no controle de picão-preto (Bidens spp.) e guanxuma (Sida rhombifolia L.) na cultura da soja*. 2002. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- RADOSEVICH, S. R.; HOLT, J. S.; GHERSA, C. *Weed ecology: Implications for management*. 2 ed New York: Wiley, 1997. 589p.
- ROMAN, E. S. *Modelling seedling emergence of common lambsquarters in corn*. 1998. Thesis (PhD) - University of Guelph, Guelph, 1998.
- ROMAN, E. S.; THOMAS, A. G.; MURPHY, S. D.; SWANTON, C. J. Modeling germination and elongation of common lambsquarters (*Chenopodium album*). *Weed Science*, v. 47. p. 149-155, 1999.
- ROMAN, E. S.; MURPHY, S. D.; SWANTON, C. Simulation of *Chenopodium album* seedling emergence. *Weed Science*, v. 48. p 217-224, 2000.
- ROMAN, E.S.; VELLOSO, J. A. R. de O. Controle cultural, coberturas mortas e alelopatia em sistemas conservacionistas. In: EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Plantio Direto no Brasil. Passo Fundo: Embrapa CNPT/FECOTRIGO/ Fundação ABC/ Aldeia Norte, 1993. cap.6, p.77-84.
- SANTOS, H. P. dos LHAMBY, J. C. B.; WOBETO, C. Efeito de culturas de inverno em plantio direto sobre a soja cultivada em rotação de culturas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, n. 3, 1998.
- SÁ, M.E. Relações entre qualidade fisiológica, disponibilidade hídrica e desempenho de sementes de soja (*Glycine max (L.) Merrill*). Piracicaba: ESALQ, 1987. 147p. Tese de Doutorado.
- SANTOS, V.L.M. Avaliação da germinação e do vigor de sementes de genótipos de soja (*Glycine max (L.) Merrill*), submetidas a estresses salino e osmótico. Viçosa, MG: UFV, 1994. 164p. Tese de Doutorado.
- 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 Science*, v. 52. p. 217-221, 2004.
- STEINMAUS, J. S.; PRATHER, S. T.; HOLT, S. J. Estimation of base temperatures for nine weed species. *Journal of Experimental Botany*, v. 51. p. 275-286, 2000.
- SWANTON, C. J.; MURPHY, S. D. Weed Science beyond the weeds: the role of integrated weed management (IWM) in agroecosystem health. *Weed Science*, v. 44. p. 437-445, 1996.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3 Ed - Porto Alegre: Artmed, 2004.

THEISEN, G; VIDAL, R. A; FLECK, N. G. Redução da infestação de *Brachiaria plantaginea* em soja pela cobertura do solo com palha de aveia-preta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 4, p. 775-782, 2000.

THOMAS, A. G.; LEFKOVITCH, L. P.; WOO, S. L.; BOWES, G. G.; PESCHKEN, D. P. Effect of temperature on germination within and between diploid and tetraploid populations of *Matricaria perforata* Merat. *Weed Research*, v. 34, p. 187-198, 1994.

VARGAS, L.; ROMAN, S. E. *Controle de plantas daninhas na cultura da soja*. Unai: Ed. do Autor, 2000.

VLEESHOWERS, L. M.; KROPFF, M. J. Prediction of weed emergence in the field. In: INTERNATIONAL WEED CONTROL CONGRESS, 2., 1996, Brighton. Proceedings... Brighton: [s. n.], 1996. v. 1, p. 209-214.

VLEESHOWERS, L. M. Modelling the effect of temperature, soil penetration resistance, burial depth and seed weight on pre-emergence growth of weeds. *Annals Botany*, v.79, p. 553-563, 1997.

WEAVER, S. E.; TAN, C. S.; BRAIN, P. Effect of temperature and soil moisture on time of emergence of tomatoes and four weed species. *Canadian Journal of Plant Science*, v. 68. p. 877-886, 1988.

WEIKAI, Y.; HUNT, L. A. An equation for modelling the response of plants using only the cardinal temperatures. *Annals of Botany*, v. 84. p. 607-614, 1999.

WHALLEY, R. W.; FINCH-SAVAGE, W. E.; COPE, R. E.; ROWSE, H.R. & BIRD, N. R.A. 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 & Environment*, v. 22. p. 229, 1999.

WHEELER, T. R.; ELLIS, R. H. Seed quality, cotyledon elongation at suboptimal temperatures, and the yield of onion. *Seed Science Research*, v. 1. p. 57-67, 1991.