

SIMULAÇÃO DA DINÂMICA DO FLORESCIMENTO DO TRIGO COMO BASE PARA UM MODELO DE RISCO DE GIBERELA

SIMULATING FLOWERING DYNAMICS IN WHEAT AS A BASIS FOR A FUSARIUM HEAD BLIGHT RISK MODEL

DEL PONTE, Emerson M. ¹; FERNANDES, José M. C. ²; PAVAN, Willingthon ³; PIEROBOM, Carlos R. ⁴

RESUMO

A giberela do trigo é atualmente uma das mais importantes doenças desta cultura, promovendo perdas na produtividade e na qualidade dos grãos. No Brasil, é uma das principais doenças nas áreas tritícolas da Região Sul. A natureza esporádica está associada à dependência climática, sendo as epidemias severas observadas em anos com maior frequência de chuvas durante a fase de florescimento. Modelos de previsão de giberela têm sido desenvolvidos com base apenas no ambiente. Um procedimento mais realístico, requer o conhecimento de outros fatores que influenciam na epidemia como densidade de inóculo e evolução do hospedeiro. No presente trabalho foram obtidos modelos matemáticos para a simulação da evolução do florescimento do trigo, considerando o assincronismo na emissão de espigas, de forma a simular a duração do florescimento e o dia com o número máximo de anteras extrusadas. Duas equações de Weibull foram ajustadas para a emergência diária de espigas em cultivares brasileiras e cultivares americanas de trigo de inverno. Uma terceira foi ajustada para valores relativos de número de anteras extrusadas por dia, sendo os parâmetros da equação influenciados pela temperatura média, ajustados a uma função quadrática. Uma primeira validação mostrou que a dinâmica do florescimento, com o acoplamento dos dois modelos, foi satisfatoriamente simulada. Os modelos têm o potencial para serem incorporados em um modelo de risco de giberela, uma vez que permitem estimar com bastante realidade a dinâmica do florescimento em parcelas de trigo, podendo ser extrapolado para uma lavoura.

Palavras-chave: modelagem matemática, simulação, *Gibberella zeae*, fenologia do trigo.

INTRODUÇÃO

A giberela ou fusariose da espiga, causada principalmente por *Gibberella zeae* (Schwein) Petch. (anamorfo = *Fusarium graminearum* Schwabe) é atualmente uma das mais importantes doenças do trigo, em diversas regiões do mundo (McMULLEN et al., 1997). É uma doença que ocorre tipicamente a partir do florescimento da cultura, sendo este estágio considerado o sítio principal de infecção onde, estabelecida a doença, promove os maiores impactos na produtividade, devido ao abortamento de grãos ou produção de grãos chochos, deformados e de baixo peso, que podem ser perdidos nas operações de colheita, trilha e limpeza (SUTTON, 1982).

Apesar do grande esforço da pesquisa por décadas, o controle da doença ainda se constitui em uma difícil tarefa, principalmente em anos de fortes epidemias. Além disto,

poucos são os materiais disponíveis com aceitável nível de resistência à giberela (LIMA et al., 2000). O controle químico é uma medida recomendada no Sul do Brasil na iminência de risco da doença (PICININI & FERNANDES, 2001). Embora existam fungicidas eficientes para controlar o fungo, estes devem ser aplicados no momento ideal, ou seja quando da maior exposição de anteras, bem como com uma tecnologia de aplicação que promova uma boa cobertura das anteras e outras partes da espiga, protegendo-a por longo período (REIS et al., 1996; CROMEY et al., 2001; PICININI & FERNANDES, 2001). Além disto, o alto custo das aplicações, aliado ao baixo valor relativo da cultura, limita o uso de mais de uma aplicação na lavoura, o que tem sido evidenciado por muitos como uma medida de maior eficiência no controle (MESTERHAZY & BARTOK, 1996; CROMEY et al., 2001). Neste cenário de incertezas e interação de vários fatores, um manejo mais eficiente requer o uso de estratégias múltiplas e integradas. Além do controle químico, o plantio de cultivares resistentes (BAI et al., 2001; MESTERHAZY, 1997), a rotação de culturas (DILL-MACKY & JONES, 2000), o escalonamento da semeadura e o uso de agentes de controle biológico (PERONDI et al., 1996; KHAN et al., 1998), são algumas medidas que podem auxiliar na prevenção do risco e no controle da doença.

O desenvolvimento de um sistema racional para a previsão do risco de giberela, tem sido vislumbrado como uma ferramenta importante no manejo integrado da doença (MOSCHINI & FORTUGNO, 1996; DE WOLF et al., 2003). Tal sistema, potencialmente, poderia ser um apoiador na tomada de decisão no controle da doença, seja com agentes químicos ou biológicos. Na iminência de risco de dano econômico, o sistema poderia promover um controle com maior eficiência ou então a economia de aplicações resultando em menor impacto ambiental. A maioria dos modelos empíricos considera apenas a influência do ambiente, desconsiderando a evolução do hospedeiro e níveis de inóculo.

VARGAS et al. (2000) apresentaram um modelo preliminar para a simulação da giberela do trigo baseado na modelagem do processo de extrusão de anteras no afilho principal de plantas de trigo, influenciado pela temperatura. Os autores observaram que este processo pode durar mais de 10 dias sob condições de baixa temperatura e dias nublados, sugerindo que o modelo pode ser útil na previsão do dia provável em que o número máximo de anteras estaria exposto, momento este que seria o ideal para acionar medidas de

¹ Eng. Agr., Doutorando, Programa de Pós-graduação em Fitossanidade, Departamento de Fitossanidade, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Campus Universitário s/n, CP 354, CEP 96010-900, Pelotas, RS. Bolsista CNPq – edelponte@hotmail.com

² Eng. Agr., Dr., Pesquisador Embrapa Trigo, Rodovia BR 285, km174, CP 451, CEP: 99001-970, Passo Fundo, RS. - email: mauricio@cnpt.embrapa.br

³ Bel em Ciência da computação, MSc, Prof., Instituto de Ciências Exatas e Geociências, Curso de Ciência da Computação, Universidade de Passo Fundo, BR 285 Km 171, São José, CEP 99001-970, Passo Fundo, RS, Email: pavan@upf.br

⁴ Eng. Agr., Dr., Prof. Titular do Departamento de Fitossanidade, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Campus Universitário s/n, CP354, CEP 96010-900, Pelotas, RS – pierobom@ufpel.edu.br

controle. No entanto, o modelo não leva em consideração o assincronismo do florescimento no nível de uma lavoura nem mesmo a interação de outros fatores determinantes do risco de infecção como o ambiente e níveis de inóculo.

O espigamento do trigo ocorre de maneira assíncrona, ou seja nem todas as espigas emergem ao mesmo tempo. Em uma planta, o afilho principal emite a primeira espiga, seguido dos afilhos secundários. Tomando por base um grupo de plantas, o assincronismo na emissão de espigas existe inclusive entre os afilhos principais.

O presente trabalho objetivou desenvolver um modelo de simulação da dinâmica do florescimento do trigo, especificamente da evolução do espigamento e do florescimento, como base para um sistema de previsão de giberela em trigo.

MATERIAL E MÉTODOS

Modelagem do progresso do espigamento

Um grupo de 23 cultivares do Ensaio Estadual de cultivares de trigo, do ano de 2000, conduzido na localidade de Capão do Leão, RS, foi monitorado a partir do início do espigamento. Em uma parcela experimental de cada cultivar, foi demarcado 1 metro na linha interna à linha da bordadura, para avaliação diária do número de espigas totalmente emergidas (estágio 59 – ZADOCKS et al., 1974). A contagem das espigas foi efetuada até a total emergência de todos os afilhos na seção de 1 metro da parcela avaliada, que continha de 90 a 120 espigas.

O mesmo procedimento foi realizado em parcelas experimentais de 4 cultivares de trigo de inverno, cultivares Caledônia, Harus, Pioneer e Freedom, recomendadas para cultivo no Estado de Nova York, no ano de 2002. Nestas, as observações foram realizadas em duas áreas experimentais com 3 repetições de 1 metro de linha de cultivo em cada parcela, totalizando 6 observações por cultivar.

Os valores diários de número de espigas emergidas foram transformados para valores relativos (0 a 1), a fim de se normalizar as observações devido às diferenças no número total de espigas emergidas na seção de 1 metro de cada cultivar. Para tal, foi aplicada a fórmula:

$$\text{EspRel } i = \text{Espx } i / \text{EspTotal}$$

Onde: EspRel = nº relativo de espigas; i = dia; Espx = nº de espigas emergidas no dia i ; EspTotal = nº total de espigas

Modelagem da extrusão de anteras

Foram utilizados os dados obtidos experimentalmente por VARGAS et al. (2000) em plantas de trigo mantidas em câmaras de crescimento ajustadas de forma a imitar 5 regimes de flutuação de temperaturas máximas e mínimas, de onde se calculou a temperatura média. Os autores observaram o número diário de anteras extrusadas por espiga. Os valores absolutos, obtidos pelos autores, foram transformados para valores relativos. Desta forma, o número relativo (0 a 1) de anteras extrusadas foi obtido através da fórmula:

$$\text{AntRel } i = \text{Antx } i / \text{AntTotal}$$

Onde: AntRel = nº relativo de anteras extrusadas; i = dia; Antx = nº de anteras extrusadas no dia i ; EspTotal = nº total de anteras extrusadas

Análise e modelagem dos dados

Os dados foram analisados utilizando-se o programa SAS (1997). As observações do número relativo de espigas emergidas e número relativo de anteras extrusadas foram ajustados a uma equação de Weibull com dois parâmetros, devido ao sentido biológico para o tipo de distribuição observada.

Modelagem da dinâmica do florescimento

Foi determinado que um grupo de espigas emergidas no mesmo dia leva 5 dias para começar a extrusar as primeiras anteras. Nesse momento, o modelo da extrusão de anteras inicia a calcular o número de anteras extrusadas para o referido grupo. Desta forma, o modelo contabiliza a taxa de extrusão diária de anteras, considerando o número diário de espigas emergidas. Uma regra foi aplicada para o período de tempo em que as anteras extrusadas permanecem presas às espigas. A duração mínima é de dois dias, prologando-se o período sob uma seqüência de dias nublados (radiação solar $\leq 10 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), até um máximo de 5 dias. Após os dois dias, a antera é eliminada do modelo no próximo dia com radiação solar $> 20 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Os cálculos foram realizados em um aplicativo de computador previamente desenvolvido, denominado Simtrigo (FERNANDES & PAVAN, 2002) que foi ajustado com as novas equações e regras obtidas no presente trabalho. O aplicativo necessita da informação da data do surgimento das primeiras espigas. O arquivo de clima com temperaturas máxima e mínima e radiação solar foi obtido junto à Estação meteorológica de Passo Fundo, distante a menos de 5 km do local do experimento.

Avaliação do modelo do espigamento

A avaliação do modelo do modelo do espigamento foi feita para o trigo brasileiro, com dados não utilizados na calibração. O número de espigas emergidas foi avaliado em intervalos de 2 a 4 dias, em parcelas do Ensaio Estadual de Cultivares de trigo conduzido na localidade de Passo Fundo, RS, nos anos de 2000 e 2003, segundo a mesma metodologia empregada na obtenção dos dados para a construção do modelo. Utilizou-se o método do envelope para modelos empíricos (MITCHELL, 1997) o qual utiliza como critério de adequação do modelo um envelope de precisão aceitável, definido neste estudo como 15% de desvio (valores simulados subtraídos dos observados). Um intervalo de confiança de 95% foi definido, ou seja, 95% dos pontos dispostos dentro do limite superior e inferior do envelope.

Avaliação do modelo do florescimento

O modelo da dinâmica do florescimento foi avaliado com dados observados na região do Planalto médio do RS, na localidade de Coxilha. Estágios fenológicos foram observados na seção de 1 metro linear em parcelas experimentais de 11 cultivares do Ensaio Estadual de Cultivares de trigo, desde o início do aparecimento das primeiras espigas, anotando-se, a cada 4 dias, o número de espigas emergidas e o número de espigas com anteras extrusadas. O modelo foi avaliado para três datas de aparecimento de espigas em um grupo de cultivares nos dias 4, 7 e 10 de setembro de 2003.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Progresso do espigamento

O surgimento das primeiras espigas no ensaio estadual do ano de 2000, na localidade de Capão do Leão, RS, ocorreu

de 11 a 17 de outubro, variando entre as cultivares. A duração do período total de emergência de novas espigas variou de 9 a 12 dias. Os valores médios diários do número relativo de espigas emergidas e a função Weibull ajustada, são apresentados na Figura 1 e abaixo:

$$\text{EspRel}_i = 1 - \exp(-0,0127 \cdot x_i^{2,4352})$$

Onde: EspRel = nº relativo de espigas emergidas; i = dia

A equação Weibull mostrou um bom ajuste ao progresso do espigamento, explicando 89% da variação experimental. Visualmente na lavoura, observou-se que no primeiro e segundo dia, surgem as primeiras espigas de afilhos principais em algumas plantas, seguido de outros afilhos principais e secundários nos dias posteriores, onde o modelo assume um comportamento linear com uma maior taxa de emissão de espigas. Na fase final, afilhos tardios continuam emergindo as espigas, porém com uma pequena taxa, até completar o espigamento (Figura 1). Para o trigo de inverno, a equação Weibull ajustada para o progresso do espigamento foi (Figura 2):

$$\text{EspRel}_i = 1 - \exp(-0,0447 \cdot x_i^{2,5041})$$

Onde: EspRel = nº relativo de espigas emergidas; i = dia

A duração do espigamento nos cultivares de inverno variou de 6 a 7 dias, sendo este período mais curto comparado ao período total da emissão de espigas do trigo brasileiro na localidade de Capão do Leão / RS.

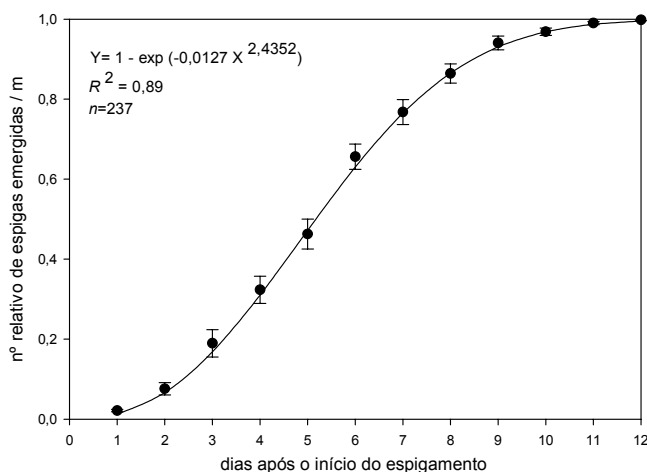


Figura 1 - Progresso do espigamento em 23 cultivares de trigo, ajustados a uma equação Weibull, Capão do Leão, RS, 2000. Barras verticais representam o erro padrão da média.

A temperatura e o fotoperíodo são fatores determinantes das taxas de crescimento e desenvolvimento do trigo (WANG & ENGEL, 1998). Este fato pode levar a hipótese de um maior sincronismo e aceleração na emissão das espigas em temperaturas mais altas, diminuindo o período total de emissão de novas espigas. No entanto, a temperatura parece não ter influenciado a maior extensão do espigamento observado no trigo de primavera, uma vez que as temperaturas observadas na localidade de Ithaca, onde o período de espigamento foi mais curto, foram, em média, inferiores às temperaturas observadas ao redor do

espigamento na localidade de Capão do Leão (Figura 4). A temperatura média no período de 1º a 12 de junho na localidade de Ithaca foi de 17,1°C. De 12 a 23 de outubro, a temperatura média na localidade de Capão do Leão, foi de 19,75°C. Na localidade de Ithaca, ocorreu uma maior diferença entre as temperaturas máxima e mínima, enquanto que na localidade do Capão do Leão, as diferenças foram menos marcantes. A diferente dinâmica de espigamento observada nos dois tipos de trigo estudados, embora em diferentes locais, sugere e justifica o uso de um modelo para cada trigo.

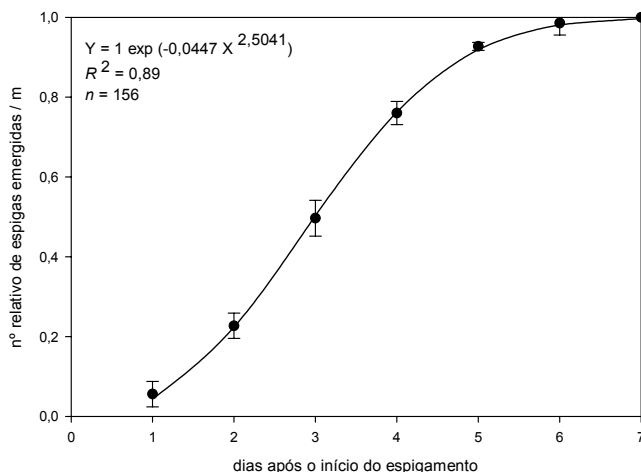


Figura 2 - Progresso do espigamento de 4 cultivares de trigo de inverno (Harus, Caledônia, Pioneer, Freedom), ajustados a uma equação Weibull, na localidade de Ithaca, NY, EUA, em junho de 2002. Barras verticais representam o erro padrão da média.

Avaliação do modelo do espigamento

Contrastando-se os dados simulados com os observados, observou-se que, de maneira geral, o modelo baseado na equação Weibull reproduziu um comportamento similar no progresso de emissão das espigas, bem como o tempo de duração total do espigamento. O modelo satisfaz a precisão do envelope de aceite, para o intervalo de confiança de 95%. Valores observados e simulados para 6 casos selecionados (cultivares x anos) são apresentados na Figura 3.

Observou-se uma tendência geral de superestimativa do número de espigas especialmente no ano de 2003. É bem provável que a temperatura tenha influência na taxa diária de emissão de espigas, acelerando ou retardando o processo. Com isto, um coeficiente poderia ser incluído no modelo, para ajustar a taxa de emissão de novas espigas, de forma a considerar as oscilações de acúmulo de graus dia no atraso ou aceleração do espigamento.

Modelagem da extrusão de anteras

A equação Weibull obtida com dados transformados para valores relativos, mostrou um melhor ajuste ao progresso da extrusão de anteras, comparada com as equações obtidas anteriormente por VARGAS et al. (2000), que ajustaram os valores absolutos de número de anteras extrusadas por dia, em 4 cultivares de trigo, a uma função polinomial com base na temperatura. No presente trabalho, as funções para cada faixa de temperatura explicaram de 89 a 96% da variação experimental, utilizando-se os dados obtidos pelos autores, independente da cultivar (Figura 5 e Tabela 1). Observa-se

que tanto a velocidade do processo de extrusão das anteras como da extensão do período foram afetadas moderadamente pela temperatura. Os parâmetros *a* e *b* da equação Weibull foram ajustados a duas equações quadráticas, em função da temperatura média (Figura 6)

VARGAS et al. (2000) reportaram que a duração do período do florescimento apresentou uma grande variabilidade entre as espigas avaliadas, mesmo todas pertencendo ao afilho principal. A observação de diferença na duração do florescimento no campo, nos anos de 1996 e 1997, para uma mesma cultivar, sugeriu haver uma influência do ambiente, naquele estudo.

Para REIS (1988) a extrusão das anteras é influenciada pela umidade relativa e temperatura, sendo esta última mais importante. Ainda, o autor afirma que as anteras são eliminadas mais rapidamente em dias de céu claro do que em dias nublados, sugerindo que sob condições de nebulosidade

ocorreria maior retenção das anteras, conforme foi traduzido no modelo considerando a radiação solar, resultando em maior risco de infecção possivelmente pelo alongamento da fase suscetível.

Os experimentos em condições controladas de VARGAS et al. (2000) evidenciaram existir diferenças na taxa de extrusão de anteras entre cultivares e em relação à temperatura. A temperatura afetou moderadamente a velocidade com que as anteras são extrusadas. No mesmo trabalho, os autores relatam que observações em plantios tardios no campo a tendência foi de diminuição na duração do florescimento, podendo estar correlacionado com as temperaturas mais altas nos final do mês de outubro. No presente trabalho, foi desconsiderado o efeito da cultivar, obtendo-se um modelo genérico para a extrusão de anteras, influenciado apenas pela temperatura.

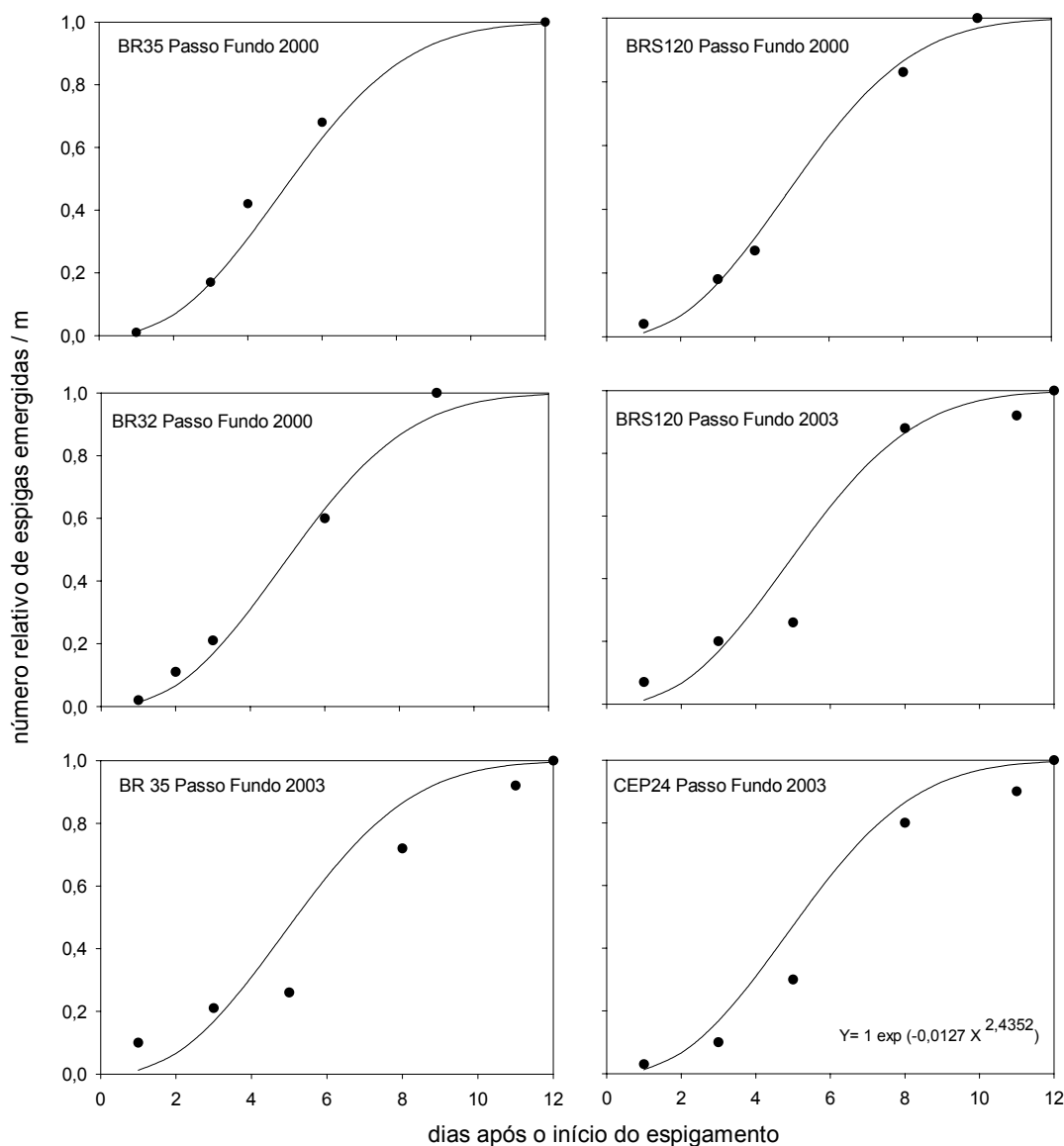


Figura 3 – Avaliação da equação Weibull (linha contínua) para simulação do progresso do espigamento comparado com dados observados (pontos) do número relativo diário de espigas emergidas em 6 cultivares de trigo no ano de 2003 na localidade de Passo Fundo / RS.

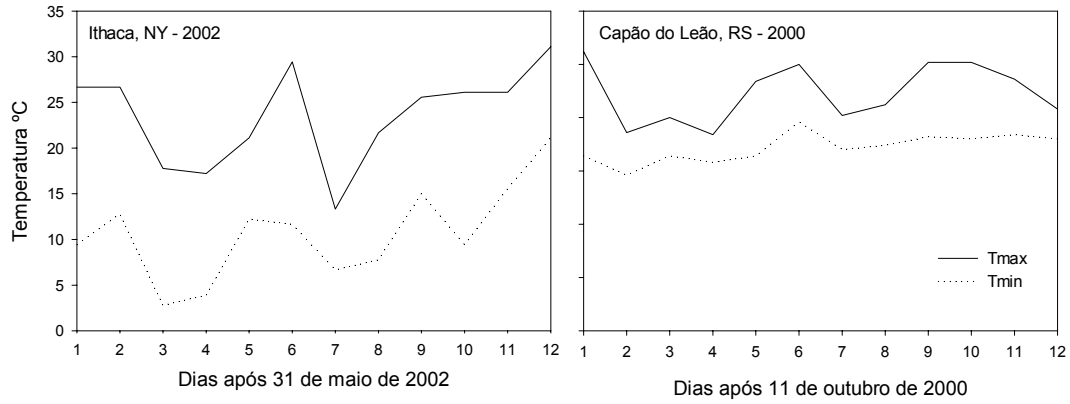


Figura 4 - Temperaturas máximas (Tmax) e mínimas (Tmin) observadas na localidade de Ithaca, NY, EUA e Capão do Leão, RS, Brasil, durante o período do espigamento do trigo.

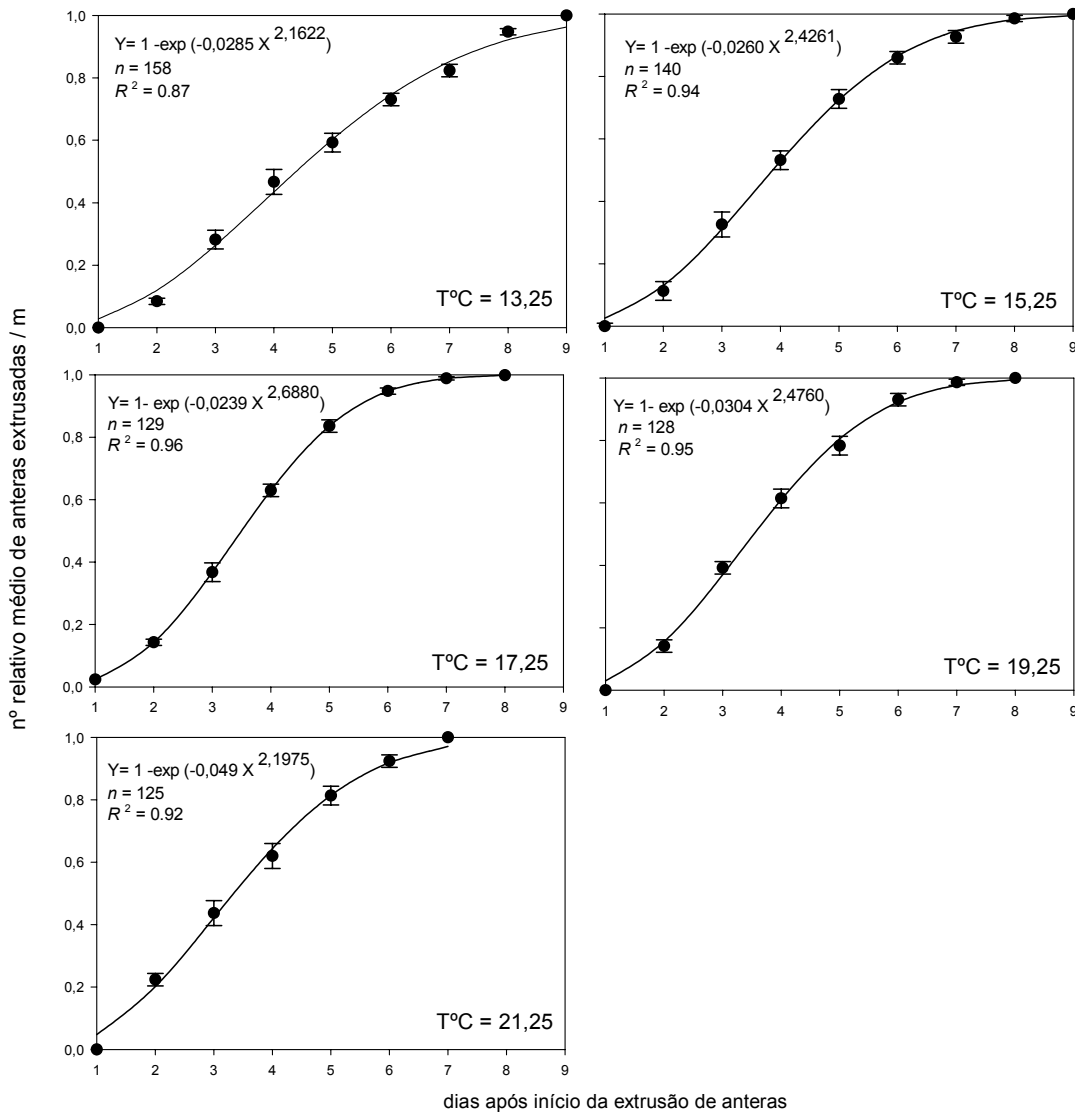


Figura 5 - Número relativo médio diário de anteras extrusadas em trigo de primavera, modificado de VARGAS et al. (2000), ajustados às equações de Weibull para 5 temperaturas médias ($T^{\circ}C$) simuladas em câmara de crescimento. Barras verticais representam o erro padrão da média.

Tabela 1 - Parâmetros de uma equação Weibull ajustada aos valores relativos do número de anteras extrusadas por dia em espigas de trigo sob 5 regimes de temperatura média, em câmara de crescimento, adaptados de VARGAS et al. (2000).

T média (°C)	Parâmetros estimados		Erro padrão do parâmetro		R ² ajustado	P > F
	a	b	a	b		
13,25	0,0285	2,1622	0,0056	0,1213	0,87	<0.001
15,25	0,0260	2,4261	0,0059	0,1524	0,94	<0.001
17,25	0,0239	2,6880	0,0047	0,1424	0,96	<0.001
19,25	0,0304	2,4760	0,0061	0,1436	0,95	<0.001
21,25	0,0490	2,1975	0,0105	0,1557	0,92	<0.001

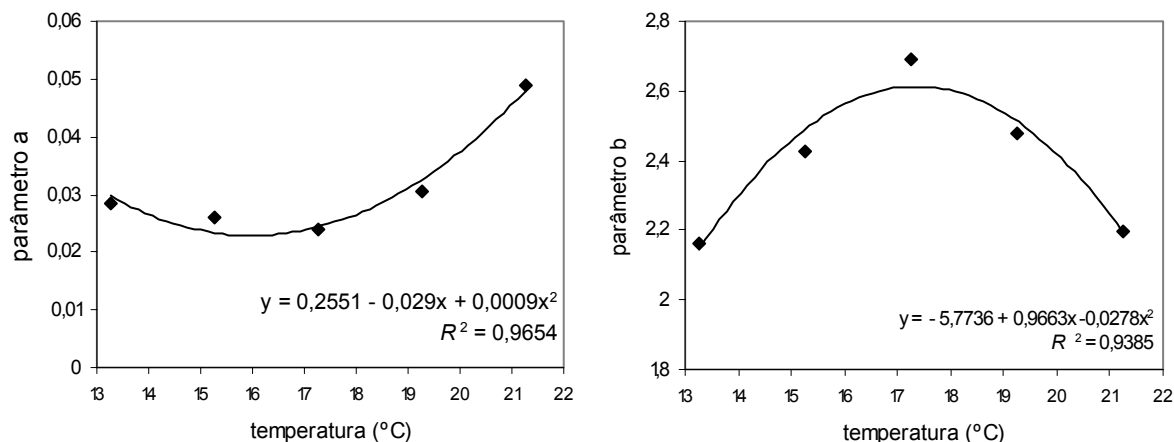


Figura 6 – Parâmetros da equação Weibull para a estimativa do número relativo de anteras extrusadas em espigas de trigo, ajustados em função da temperatura média diária.

Simulação do florescimento no campo

Início do espigamento em 4 de setembro – cultivar Embrapa 40

Partindo-se desta data de início de emergência de espigas, o modelo simulou a ocorrência de uma maior proporção de anteras presas entre os dias 15 e 20 de setembro, com duração de aproximadamente 5 dias (Figura 7). Neste intervalo, foi simulado, além do primeiro pico de extrusão de anteras, um segundo pico devido à queda no valor de radiação solar nos dias 19 e 20, situação tal em que o modelo determinou uma maior duração do tempo em que as anteras ficaram presas às espigas. Na observação de campo foi anotado, para a cultivar Embrapa 40, o último dia com anteras extrusadas, nas últimas espigas emergidas, o dia 21 de setembro. O modelo simulou uma queda drástica no número de anteras presas neste dia. Estas últimas espigas emergidas representam uma pequena proporção do total de anteras, o que concorda com a queda acentuada nos dados simulados, onde o modelo eliminou grande parte das anteras presas.

Início do espigamento em 7 de setembro – cultivares BRS120 e Ônix

Nestes cultivares, as primeiras anteras surgiram entre os dias 10 e 12 de setembro. As últimas espigas com anteras foram anotadas de 22 a 25 de setembro, concordando com os

valores simulados apresentados na Figura 7, onde uma pequena proporção de flores foi observada a partir do dia 24, sendo que a baixa radiação solar determinou que o modelo estimasse um maior número de anteras presas, para esse período. Entretanto, as anteras foram liberadas, no modelo, a partir do dia 27.

Início do espigamento em 10 de setembro – BRS177 e BRS179

O surgimento das primeiras anteras no campo, ocorreu mais tardiamente do que para outros cultivares, levando 6 dias para uma espiga iniciar a extrusão das primeiras anteras, o que ocorreu no dia 16. Observando-se as variáveis de ambiente, percebe-se que neste intervalo ocorreram as menores temperaturas do mês de setembro, o que pode ter influenciado as taxas de desenvolvimento da planta, atrasando o início de extrusão das anteras. O modelo, atualmente, assume como fixo o intervalo de 5 dias entre a completa emergência da espiga até o aparecimento das primeiras anteras, bem como a taxa de emergência das espigas, a qual não é corrigida pela temperatura, o que explica o adiantamento da simulação. A partir do dia 16 a temperatura do ar tendeu a elevação. O modelo estimou que uma proporção superior a 60% de anteras presas ocorreu no dia 20 de setembro, concordando com o observado visualmente na lavoura.

A dinâmica do florescimento na parcela de trigo foi simulada com bastante realismo, tanto a duração do período como as datas de ocorrência de eventos específicos como o florescimento pleno e final de extrusão de anteras. O florescimento médio observado na parcela, isto é, quando todas as espigas apresentam ao redor de 50% de anteras extrusadas, para a cultivar Embrapa 40, ocorreu no dia 14 de setembro. Esta observação foi precisamente simulada pelo modelo que mostrou que mais de 60% das anteras foram

extrusadas neste dia. O mesmo pode ser afirmado para as cultivares que iniciaram o espigamento no dia 7 de setembro, onde se estimou visualmente a data de floração média nos dias 15 e 16. O modelo mostrou que, neste dia, mais de 40% das anteras foram extrusadas. Nos dias com céu nublado, de 24 a 26 de setembro, o modelo simulou uma maior proporção de anteras presas nesse período, para as 3 situações simuladas (Figura 7).

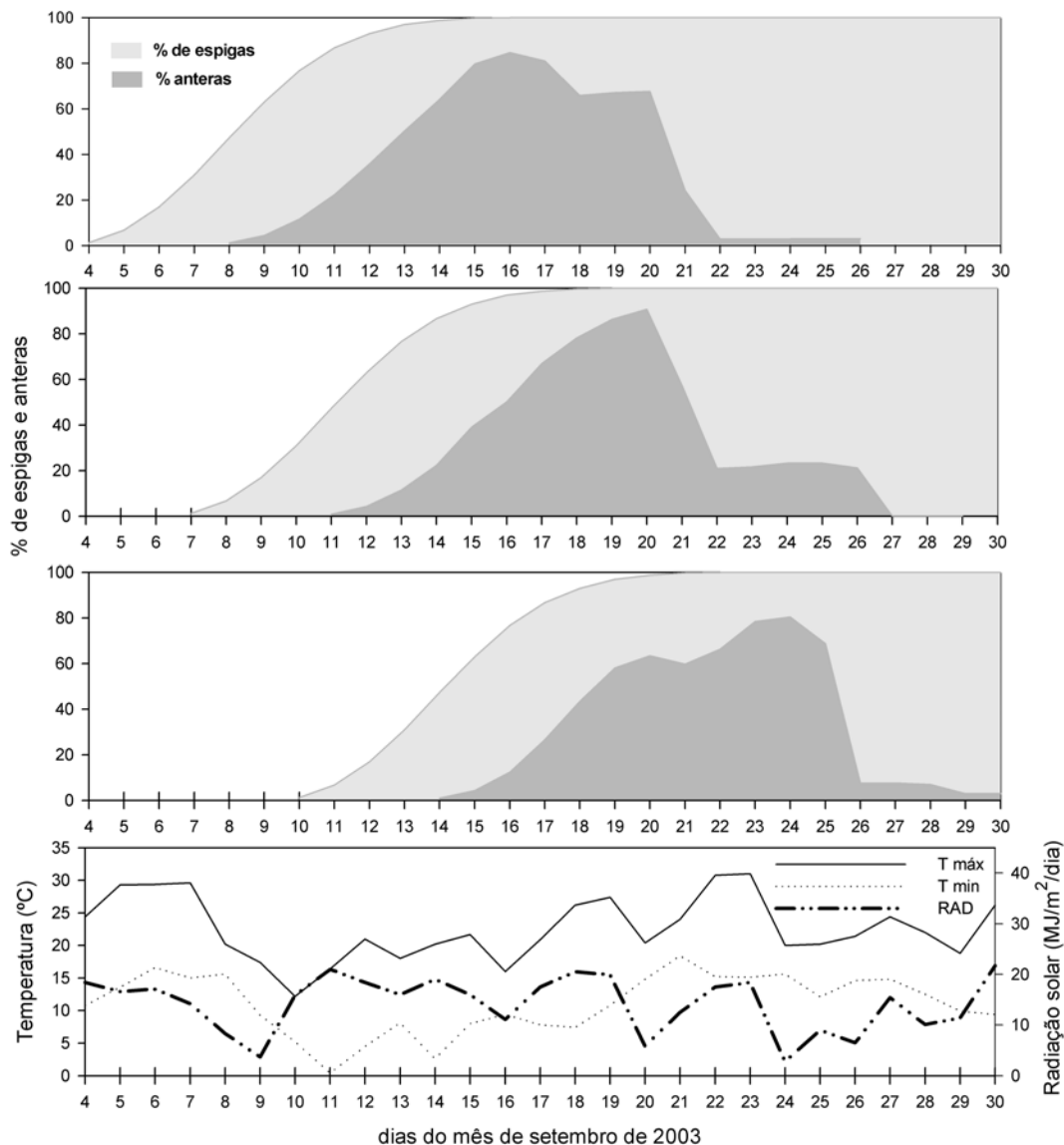


Figura 7 – Simulação da dinâmica do florescimento a partir de 3 datas de início de espigamento no mês de setembro de 2003, em parcelas de cultivares de trigo, na localidade de Coxilha, RS. Dados climáticos de temperatura (T máx e T mín) e radiação solar (RAD) foram observados na estação de Passo Fundo na Embrapa Trigo.

Os presentes modelos da dinâmica do espigamento e florescimento do trigo são um melhoramento do modelo desenvolvido anteriormente (VARGAS et al., 2000) que considerava apenas a extrusão de anteras nas espigas do

afilho principal. O acoplamento dos dois modelos permitiu a simulação com bastante realidade da dinâmica do florescimento na lavoura. Embora se perceba que, no geral, o florescimento pleno ocorreu de 7 a 10 dias após o início da

antese, o atual modelo tem o refinamento de estimar o percentual de anteras presas, informação necessária para calcular o risco quantitativo de infecções ao longo da fase suscetível, em um sistema de previsão de giberela. Validações futuras ainda precisam ser feitas para se verificar a adequação do modelo do florescimento para o trigo de inverno que, em teoria, teria um comportamento diferente devido ao maior sincronismo na emissão das espigas.

A incorporação de módulos de fenologia do trigo para modelar a epidemia de giberela foi também adotada recentemente em outro modelo de previsão de giberela (MOSCHINI et al., 2002). Os autores avaliaram o curso do espigamento e presença de anteras na cultivar Klein Volcán, plantada na região de Castelar, Buenos Aires, ajustando um modelo à proporção de espigas com anteras e o acúmulo diário de temperaturas médias acima de 12°C. Para prever o índice de giberela, os autores acoplaram um risco climático diário de infecção, contabilizando um índice de doença, em função do percentual de espigas com anteras presentes, diferentemente do atual modelo que calcula o percentual de anteras presas às espigas.

Os modelos obtidos no presente trabalho permitem estimar tanto a duração total do período com anteras presentes na lavoura, o potencial sítio primário de infecção, como os dias prováveis em que se tem o maior número de anteras presas, sendo este o dia indicado para se controlar a doença com fungicidas, desde que haja alto risco de ocorrência de giberela. A simulação do florescimento no nível de uma lavoura é, portanto, etapa fundamental na elaboração de um sistema de previsão de giberela, de forma a quantificar o risco de infecções de giberela ao longo da fase suscetível.

CONCLUSÕES

A dinâmica do espigamento de cultivares brasileiras de trigo de primavera apresenta diferente comportamento em relação às cultivares americanas de trigo de inverno, tendo seus dados ajustados a equações de Weibull com diferentes parâmetros, conforme o tipo de trigo.

A dinâmica do florescimento pode ser satisfatoriamente simulada com o acoplamento de modelos da evolução do espigamento e da extrusão de anteras, de modo a simular o percentual de anteras presas na lavoura.

ABSTRACT

Fusarium head blight of wheat (FHB) is one of the most important wheat diseases worldwide, promoting great losses in the yield and grain quality. In Brazil, FHB is a disease of great concern in the wheat's production area in the South Region. The sporadic nature is associated with the climatic dependence, being the most severe epidemics reported in years with a high frequency of rain during wheat flowering. FHB forecast models have been developed with base only in the environment. A realistic approach should take into account inoculum density and host development. In the present work mathematical models were developed for simulating flowering dynamics in wheat taking into account the asynchronous nature of spike emergence in the field and temperature affecting the rate of anther extrusion. Two Weibull's equations were adjusted to the relative daily number of spikes emerged in Brazilian and American winter wheat. One third was adjusted to the relative daily number of extruded anthers, being the parameters adjusted by a quadratic function influenced by mean daily temperature. A first validation showed that the models successfully simulated the dynamics of wheat flowering in

field plots. The models have the potential to be incorporated into a FHB risk model.

*Key words: mathematical models, simulation, **Gibberella zeae**, wheat phenology.*

REFERÊNCIAS

- BAI, G.H.; PLATTNER, R. D.; DESJARDINS, A. E. et al. Resistance to Fusarium head blight and deoxynivalenol accumulation in wheat. **Plant Breeding**, v.120, n.1, p.1-6, 2001.
- CROMEY, M.G.; LAUREN, D. R.; PARKES, R. A. et al. Control of Fusarium head blight of wheat with fungicides. **Australian Journal of Plant Pathology**, v.30, p.301-308, 2001.
- DE WOLF, E.D.; MADDEN, L.V.; LIPPS, P.E. Risk assessment models for Fusarium head blight epidemics based on within-season weather data. **Phytopathology**, v.93, n.4, p.429-435, 2003.
- DILL-MACKY, R.; JONES, R.K. The effect of previous crop residues and tillage on Fusarium head blight of wheat. **Plant Disease**, v.84, p.71-76, 2000.
- FERNANDES, J.M.C.; W. PAVAN. A phenology-based predictive model for Fusarium Head Blight of Wheat. In: 2002 NATIONAL FUSARIUM HEAD BLIGHT FORUM, 2002, Erlanger, KY, USA. **Anais...** Erlanger, KY, USA: 2002. p.154-158.
- KHAN, N.I.; SCHISLER, D.A.; BOEHN, J.J. et al. Biological control of scab of wheat incited by *Gibberella zeae*. In: NATIONAL FUSARIUM HEAD BLIGHT FORUM, 1998, Michigan. **Anais...** Michigan: 1998. p.45-46
- LIMA, M. I. P. M.; FERNANDES, J.M.C.; PICININI, E.C. Avaliação da resistência a giberela em trigo. **Fitopatologia Brasileira**, v.25, n.1, p.30-35, 2000.
- McMULLEN, M.; JONES, R.; GALLENBERG, D. Scab of wheat and barley: A re-emerging disease of devastating impact. **Plant Disease**, v.81, p.1340-1348, 1997.
- MESTERHAZY, A. Breeding of resistance to Fusarium head blight of wheat. In: DUBIN, H. J.; GILCHRIST, L.; REEVES, J. et al. **Fusarium Head Blight: global status and future prospects**. Mexico: CIMMYT, 1997.
- MESTERHAZY, A.; BARTOK, T. Control of Fusarium head blight of wheat by fungicides and its effect on the toxin contamination of the grains. **Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer**, v.49, p.191-198, 1996.
- MITCHELL, P.L. Misuse of regression for empirical validation of models. **Agricultural systems**, v.54, n.3, p.313-326, 1997.
- MOSCHINI, R. C.; FORTUGNO, C. Predicting wheat head blight incidence using models based on meteorological factors in Pergamino, Argentina. **European Journal of Plant Pathology**, v.102, p.211-218, 1996.
- MOSCHINI, R. C.; GALICH, M.T.V.; ANNONE, J.G. et al. Enfoque fundamental-empírico para estimar la evolución del índice de Fusarium en trigo. **Revista RIA**, v.31, n.3, p.39-53, 2002.
- PERONDI, N.L.; LUZ, W.C; THOMAS, R. Controle microbiológico da giberela do trigo. **Fitopatologia Brasileira**, v.21, p.243-249, 1996.
- PICININI, E.C; FERNANDES, J.M.C. **Efeito da época de pulverização com fungicidas sobre o controle de *Gibberella zeae* em trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. (Comunicado Técnico).
- REIS, E.M. Quantificação de propágulos de *Gibberella zeae* no ar através de armadilhas de esporos. **Fitopatologia Brasileira**, v.13, p.324-327, 1988.

REIS, E.M.; BLUM, M.M.C.; CASA, R.T. Controle químico de *Gibberella zeae* em trigo, um problema de deposição de fungicidas em anteras. **Summa Phytopathologica**, v.22, p.39-42, 1996.

SAS. **Statistical Analysis System**. User's Guide. Version 6.08, SAS INSTITUTE INCE 4. ed. North Caroline. <SAS INSTITUTE INC>, 1997. 846p.

SUTTON, J.C. Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v.4, p.195-209, 1982.

VARGAS, P. R.; FERNANDES, J.M.C.; PICININI, E.C. et al. Simulação de epidemia de giberela em trigo. **Fitopatologia Brasileira**, v.25, p.497-504, 2000.

WANG, E.; ENGEL, T. Simulation of phenological development of wheat crops. **Agricultural systems**, v.58, n.1, p.1-24, 1998.

ZADOCKS, J.C.; CHANG, T.T.; KONZAC, C.F. A decimal code for the growth of cereals. **Weed Research**, v.14, p.415-421, 1974.