

ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE CONJUNTOS DE DADOS OBTIDOS DURANTE A MATURAÇÃO DE SEMENTES DE MILHO¹

CARLOS ALBERTO SCAPIM², TEREZINHA APARECIDA GUEDES³, JOSÉ WALTER PEDROZA CARNEIRO⁴, ALESSANDRO DE LUCCA E BRACCINI⁵ E DENILSON DO AMARAL⁶

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi o de indicar, ou não, distribuições alternativas e assimétricas para a análise de dados que foram obtidos com os testes de germinação, frio e envelhecimento, peso de matéria seca e porcentagem de umidade medidos durante a maturação de sementes de milho. Para isto foi realizada uma análise exploratória dos dados obtidos de um experimento em que foram semeados três híbridos em três épocas distintas e cujas plantas tiveram as espigas amostradas dentro de cada parcela. O intervalo de coleta variou em quatro dias começando após o 23º e terminando no 59º dia após o florescimento. As distribuições estudadas foram a Normal, a Lognormal, a de Gumbel e a de Weibull. O valor numérico do logaritmo da função verossimilhança foi usado como indicativo do grau de ajustamento. Os resultados indicaram que distribuições diferentes da Normal podem ser uma alternativa para dados em porcentagem obtidos durante a maturação. O maior valor do logaritmo da função de verossimilhança foi obtido com o ajuste da distribuição de Gumbel para os dados germinativos em porcentagem e a de Weibull para o peso da matéria seca acumulada e porcentagem de umidade.

Termos para indexação: maturação, sementes, milho, distribuições estatísticas; germinação e vigor.

EXPLORATORY DATA ANALYSIS FROM DATA SET OF CORN SEED MATURATION

ABSTRACT - This exploratory data analysis indicated the alternative use of asymmetrical statistical distribution for data analysis from time to flowering until seed maturation is achieved. It was used data from the seed germination test, vigor tests, moisture content and seed dry weight as dependent variables. The hybrids corn seeds were planted in three different times of seeding and samples of plants were taken in each plot. The time interval of four days between each sample was used, starting in the 23rd and finishing in the 59th. The Normal, Lognormal, Gumbel and Weibull distribution was used to determine the highest numerical value of the loglikelihood as a test of goodness of fit. The highest numerical value of the loglikelihood was provided by the Gumbel distribution fit to the proportional data set but the seed dry weight and water content had a best fit to the Weibull distribution.

Index terms: seed maturation, corn, statistical distributions, seeds, germination, vigour.

INTRODUÇÃO

Durante a maturação ocorre, em cada semente, uma série de modificações morfológicas, fisiológicas e funcionais (Popinigis, 1977). São transformações que necessitam ser estabilizadas quando estão maximizadas para que a popula-

ção de sementes tenha condições qualitativas apropriadas no momento da semeadura.

Nos experimentos sobre maturação de sementes, são tomadas medidas de porcentagens de ocorrências germinativas, do acúmulo de matéria seca, da porcentagem de umidade, e medidas adicionais de vigor usando as porcentagens de ocorrências germinativas após o uso do teste do frio (Cícero &

¹ Aceito para publicação em 29.12.2001.

² Dr., Prof. de Genética e Melhoramento de Plantas da UEM, Av. Colombo 5790, 87020-900, Maringá-PR.

³ Dr^a em Engenharia de Produção, Prof^a do Depto. de Estatística da UEM.

⁴ MSc. em Fitotecnia, Prof. de Tecnologia de Sementes da UEM.

⁵ Dr. em Fitotecnia, Prof. de Tecnologia de Sementes da UEM; e-mail: albracini@uol.com.br

⁶ MSc. em Agronomia, funcionário da UEM; e-mail: denamaral@ig.com.br

Vieira, 1994) ou do envelhecimento precoce (Marcos-Filho, 1994).

A metodologia para escolher o melhor momento para a colheita das sementes é bastante conhecida e antiga no Brasil (Popinigis, 1977) e não carece de comentários adicionais. A metodologia para tratar os dados coletados é ainda merecedora de uma análise adicional. A literatura agrônômica que trata deste tipo de avaliação assume que todo conjunto de dados atende aos pré-requisitos para o uso da distribuição Normal e para a aplicação dos testes de média, principalmente os de Tukey e Duncan, que estão generalizados na literatura tecnológica de sementes. Quando não, modelos lineares são ajustados aos dados obtidos no decorrer do tempo em que foram realizadas as amostragens (Santos, 1998).

Todavia, a literatura que orienta a análise de dados, de natureza biológica (Scheiner, 1993) e que pode perfeitamente ser estendido para a área agrônômica, sugere uma seqüência metodológica que tem o seu início com a realização de uma análise exploratória. Esta é uma abordagem que não tem feito parte do "modus operandis" da análise de dados que é praticada na tecnologia de sementes. A análise exploratória é uma abordagem biométrica em que métodos gráficos (<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section1/eda123.htm>) procuram focalizar os dados coletados e relatá-los no que diz respeito à sua estrutura, pontos discrepantes e modelos sugeridos (<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section1/eda122.htm>) pelo conjunto que está sendo analisado. A principal vantagem disto é tornar possível a escolha de modelos com significado biológico ou agrônômico e com propriedades estatísticas que permitam, também, estimativas seguras dos parâmetros que serão usados para tomadas de decisões.

Relatos anteriores (Carneiro et al., 2001) têm indicado que as ocorrências germinativas, expressas em porcentagem, podem não ter aderência à distribuição Normal e isto sugere cautela com conjuntos de dados germinativos provenientes de outros experimentos.

O objetivo deste trabalho foi o de mostrar alternativas diferentes da distribuição Normal e que podem ser usadas para descrever conjuntos de dados obtidos, também, durante a maturação de sementes de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados nesta análise foram obtidos de um experimento montado na fazenda experimental da Coodetec, em Cascavel, no Paraná, em uma área com solo roxo distrófico, na latitude de 24°56'S; na longitude de 53°26' e a 760m de altitude.

Foram semeados dois híbridos simples, CD 1723 e CD 5501 e um duplo, OC 705, de milho (*Zea mays* L.) em 30 de setembro de 1996; 28 de outubro de 1996 e 20 de novembro de 1996. Cada parcela, com 18m² de área útil, continha cinco plantas por metro, adubadas com 240kg.ha⁻¹ da fórmula 4-20-20 no plantio e 140kg.ha⁻¹ de sulfato de amônio aplicado aos 30 dias após a emergência. Foram realizadas duas capinas para o controle de ervas daninhas (Santos, 1998). Nas parcelas foi realizada a casualização dos híbridos em função de cada época de plantio e no tempo foram realizadas amostragens usando intervalos regulares de quatro dias, com início 23 dias após o florescimento feminino e término aos 59.

Após cada coleta, foram realizados os testes de **germinação** com oito repetições de cinquenta sementes por rolo de papel do tipo germitest, umedecido com água destilada e deionizada numa quantidade equivalente a três vezes o peso do papel e foram colocados em germinadores a 25±1°C, durante sete dias (Brasil, 1992), quando as plântulas normais foram avaliadas; o **teste do frio** foi realizado com oito repetições de cinquenta sementes, em rolos de papel do tipo germitest, sem solo, com os sacos plásticos colocados em câmara de germinação regulada a 10°C, durante sete dias e depois transferidos para a temperatura de 25±1°C. As contagens foram no quarto dia após a transferência (Cícero & Vieira, 1994 e Krzyzanowski et al. (1999); **teste de envelhecimento** com oito repetições de cinquenta sementes colocadas em uma câmara regulada a 42°C, durante 96 horas (Marcos-Filho, 1994; Krzyzanowski et al., 1991). A **matéria seca acumulada** foi determinada com duas amostras de 200 sementes, usando uma balança com a precisão de milésimos de grama; a **porecentagem de umidade** foi determinado usando uma estufa com circulação forçada de ar regulada para 105±3°C, durante 24 horas (Brasil, 1992).

Os demais procedimentos agrônômicos antes e durante o crescimento das plantas utilizadas neste experimento podem ser obtidos consultando Santos (1998) que deu origem aos conjuntos de dados usados neste trabalho.

Numa primeira etapa, histogramas para verificar a existência de assimetria, ou não, foram construídos. Foi realizada, uma análise para verificar o ajuste do conjunto de dados à distribuição Normal usando para isto rotinas estatísticas disponíveis no SYSTAT (Wilkinson, 1990). Numa segunda etapa, cada conjunto foi ajustado à distribuições simétricas e assimétricas com o objetivo de verificar qual delas, em particular, é capaz de descrever com mais propriedade cada variável.

As medidas obtidas foram ajustadas a quatro distribuições estatísticas. No caso de uma distribuição simétrica foi

usada a função de densidade de probabilidade da distribuição Normal em que

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

No caso de distribuições assimétricas, as funções de densidade de probabilidade da distribuição Lognormal é igual a

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

enquanto que a de Gumbel é

$$f(x) = \frac{e^{-\left(\frac{y-x}{\beta}\right)} e^{-\left(\frac{y-x}{\beta}\right)}}{\beta}$$

A parametrização da distribuição de Weibull ajustada neste trabalho é

$$f(x) = \frac{c}{b} \left[\frac{x}{b}\right]^{c-1} e^{-\left[\frac{x}{b}\right]^c}$$

O significado biológico de cada parâmetro usado para parametrizar cada distribuição pode ser encontrado na literatura (Mead, Curnow & Hasted, 1993; Carneiro, 1994; Gumbel, 1958 e Jonhson & Kotz, 1970a-b).

Histogramas da distribuição com melhor poder de aderência aos dados foram construídos para melhorar a visualização de cada conjunto usado nesta abordagem.

O ajustamento destas funções de distribuição à cada conjunto de dados foi obtido pelo método de máxima verossimilhança (Cooke et al., 1993) usando a rotina VTFIT. O valor numérico do logaritmo da função de máxima verossimilhança,

$$\ln(L) = \sum_{i=1}^n \ln \left[\hat{f}(x_i) \right]$$

foi usado com indicativo do grau de ajustamento (Cooke, 1993 e Worley et al., 1990). Esta estimativa, que pode ser um número negativo, indica que quanto melhor é o ajuste conseguido maior é o valor obtido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os histogramas (a,b,c) na Figura 1 não sugerem a normalidade dos dados germinativos obtidos durante o tempo necessário para a ocorrência da maturação destas sementes de milho. Existe claramente uma assimetria à direita que é confirmada pelas curvas de probabilidade (a,b,c) na Figura 2. Pequenas assimetrias à esquerda também são observadas. Na Figura 2d é possível ver as porcentagens de umidade. É a

melhor aderência à distribuição Normal dentre as quatro variáveis descritas por porcentagem e indicadas nesta Figura. Percebe-se, todavia, maiores frequências nas extremidades conforme sugere a forma do histograma d da Figura 1. Isto cria a necessidade de se aprofundar mais nesta avaliação e o resultado disto será mostrado mais à frente.

Na Figura 3 estão os resultados obtidos com a matéria seca acumulada. Este é um caso típico em que a distribuição dos dados tem maior peso nas extremidades do que teria caso os dados seguissem a distribuição Normal (Neter et al., 1995). É possível comparar a similaridade deste histograma com outros de caráter didático e existentes na literatura (Mead et al., 1993; Sokal & Rohlf, 1981 e Neter et al., 1995). Ele sugere que existem fortes probabilidades de ocorrência de valores nas extremidades da distribuição. Apesar disto, tanto para a porcentagem de umidade quanto para a matéria seca acumulada, é possível destacar que existe mais proeminência no caso da matéria seca acumulada (Figura 3). No caso da umidade é possível afirmar que estes dados ocorreram com menor frequência. No todo, estes são resultados que sugerem o uso de modelos diferentes para analisar cada conjunto de dados de um mesmo experimento.

Na Tabela 1 estão os resultados do logaritmo da função de verossimilhança obtidos com o ajuste do conjunto de dados às distribuições Normal, Lognormal, Gumbel e Weibull. O que estes resultados indicam é que existem alternativas assimétricas que favorecem mais os resultados e que podem ser usadas para analisar estes dados.

A distribuição com o maior valor do logaritmo da função de verossimilhança é a distribuição de Gumbel, para os dados germinativos expressos em porcentagem. A distribuição Normal teve o pior desempenho. Isto vem reforçar a falta de Normalidade que existe nestes conjuntos de dados em que os resultados são medidos em porcentagem (Scott et al., 1984 e Collet, 1993).

O peso da matéria seca foi melhor descrito pela distribuição Normal do que pela distribuição de Gumbel, mas a de Weibull teve a estimativa do logaritmo da função de verossimilhança ainda maior. É provável que isto se deva à maior flexibilidade da distribuição de Weibull que possui, no parâmetro que mede o desvio (spread), a causa do observado. Neste caso esta estimativa foi de 4,01 (Tabela 2). É um valor próximo a 3,6 e com o qual a distribuição de Weibull se aproxima da Normal. Havendo opção pelo uso da distribuição Normal é preciso ressaltar que a média da matéria seca observada foi de 0,2072g e o desvio padrão foi de 0,059 e que está bastante longe da média. Isto não inviabiliza o uso do valor médio destas observações, mas o coeficiente de varia-

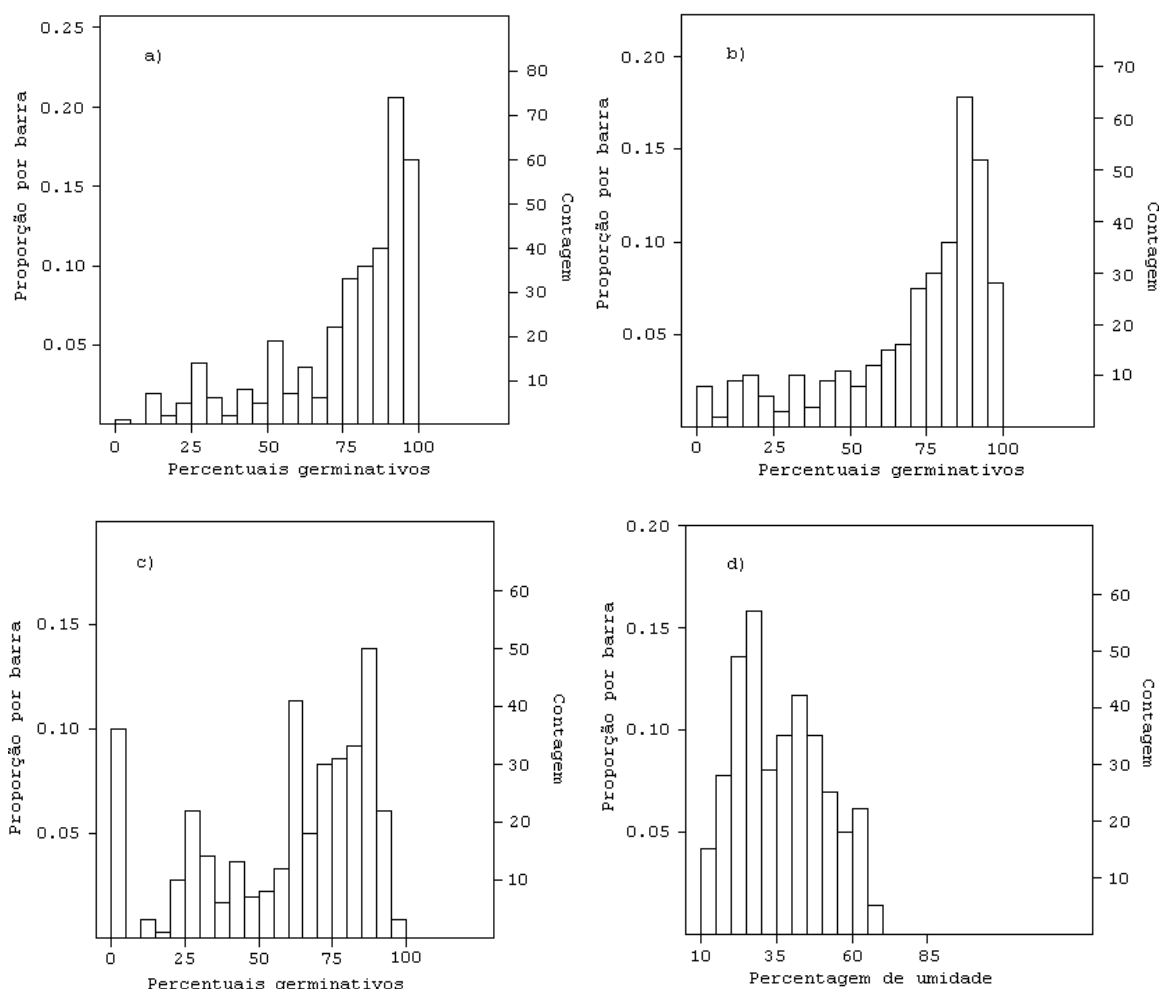


FIG. 1. Histogramas indicando a assimetria nas ocorrências germinativas obtidas com os testes a) de germinação, b) do frio, c) de envelhecimento e d) percentagem de umidade de sementes de milho.

TABELA 1. Estimativas do logaritmo da função de máxima verossimilhança obtidas com conjuntos de dados de sementes de milho, colhidas em função do tempo de maturação e ajustados com diferentes distribuições simétricas e assimétricas.

Distribuições	TG	TF	TE	MS	UM
Normal	-1625,11	-1670,29	-1706,407	503,015	-1461,437
Lognormal	-1740,82	-1893,32	-1927,711	482,194	-1461,132
Gumbel	-1563,13	-1612,11	-1668,190	499,259	-1492,954
Weibull	-1616,73	-1712,35	-1775,870	508,730	-1452,767

TG - Teste de germinação; TF - Teste do frio; TE - Teste de envelhecimento; MS - Matéria seca; UM - umidade.

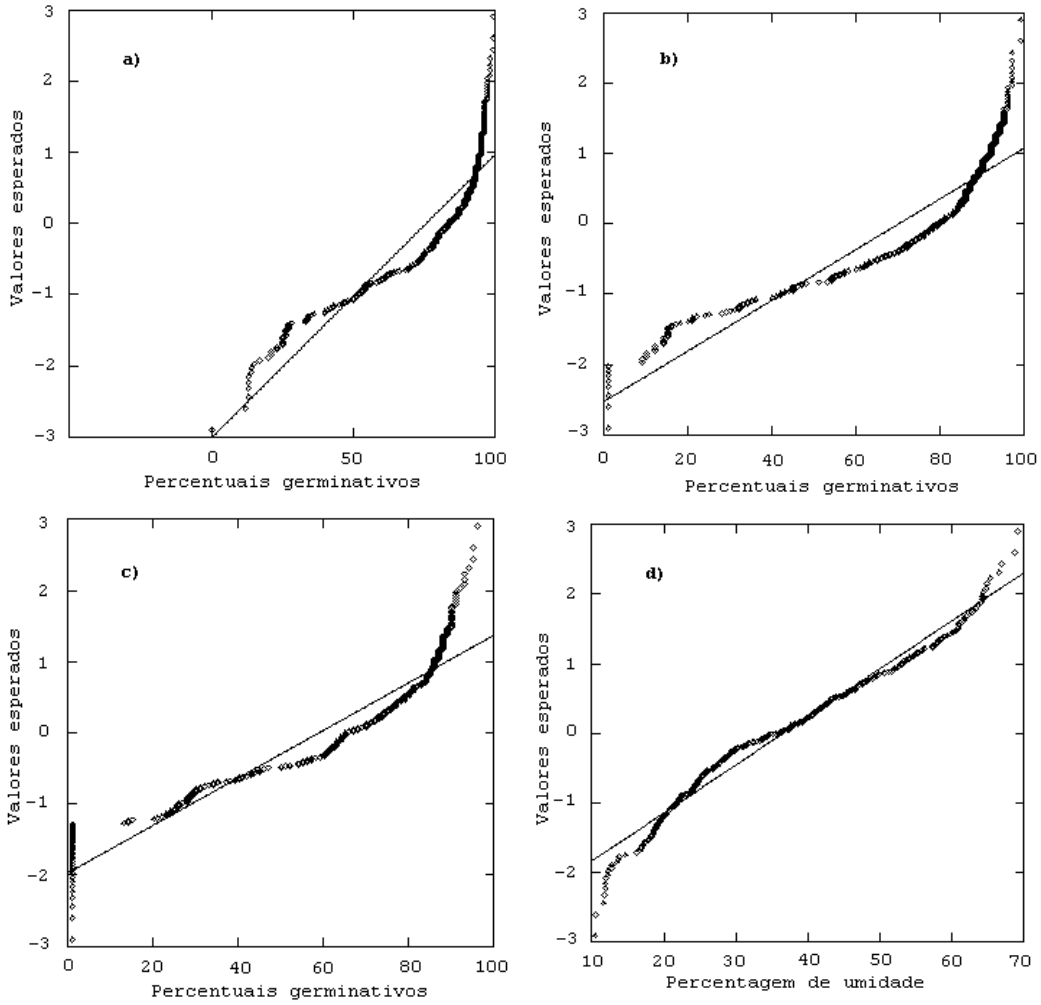


FIG. 2. Gráficos indicando a aderência, de porcentagens de ocorrências germinativas obtidas com os testes a) de germinação, b) do frio, c) de envelhecimento e d) percentagem de umidade de sementes de milho, à distribuição Normal.

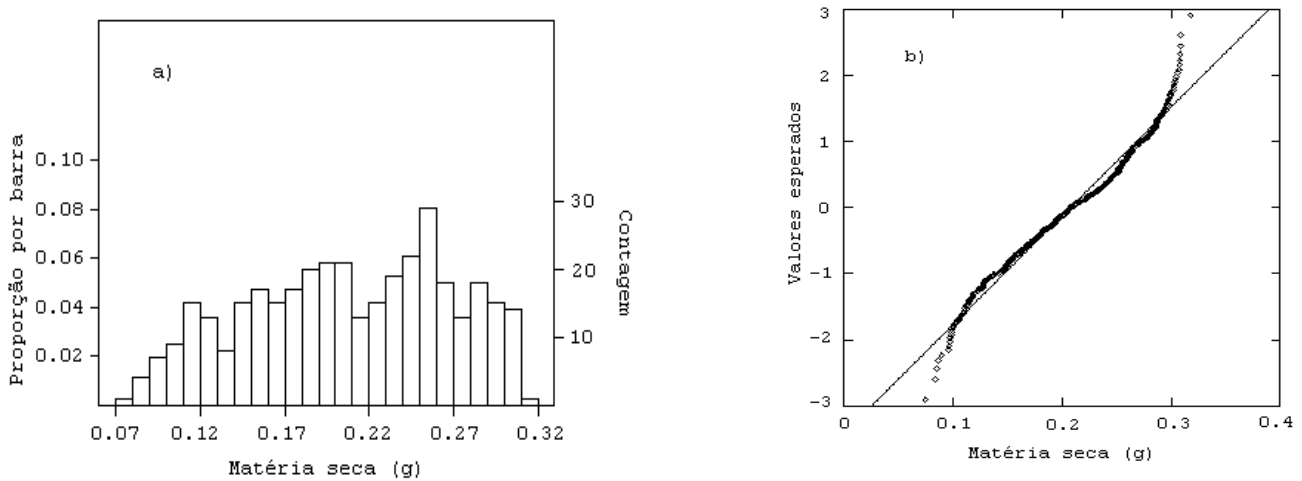


FIG. 3. Histograma e gráfico indicando a) a assimetria e b) a aderência do acúmulo de matéria seca (g) obtido durante a maturação de sementes de milho, à distribuição Normal.

TABELA 2. Estimativas de posição e de dispersão obtidas com o ajuste de distribuições assimétricas a conjuntos de dados coletados, durante a maturação de sementes de milho, com os testes de germinação (TG), do frio (TF), do envelhecimento (TE), com o acúmulo de matéria seca (MS) e com a porcentagem de umidade (UM).

	Variáveis	
	Estimativas de parâmetros	
	Localção	Dispersão
TG (%)	85,85	17,43
TF (%)	81,32	19,77
TE (%)	71,40	21,87
MS (g)	0,2292	4,01
UM (%)	41,15	2,82

Obs.: No caso da matéria seca (MS) e porcentagem de umidade (UM), as estimativas de dispersão dos dados são adimensionais.

ção foi igual a 28,75%. Para dados como estes, que possuem assimetria, a distribuição de Weibull é uma alternativa ao uso da distribuição Normal (<http://home.clara.net.sisa/weibhlp.htm>). Não se pode desprezar, também, numa análise como esta, que a repetição da amostragem no tempo, um fator sempre presente na estrutura experimental deste tipo de trabalho (Fox, 1993), pode ser o grande responsável pelo desempenho assimétrico que foi observado. Para superar isto é possível usar técnicas especiais de análises e que serão sugeridas ao final deste trabalho.

Na Figura 4 estão os histogramas e as curvas de densidade de probabilidades (a,b,c) obtidas com a distribuição de Gumbel para os dados em porcentagem e na Figura 5 estão a de Weibull para os dados de matéria seca (a) e porcentagem de umidade (b). É provável que a forma acumulativa dos dados obtidos durante o processo de maturação seja a principal causa responsável por este desempenho favorável à Weibull. Isto poderá ser ressaltado pelo uso de modelos não lineares e capazes de descrever este tipo de conjunto de dados. O uso de curvas de resposta tem sido uma excelente opção (Potvin et al., 1990) e podem ser usadas neste caso.

Observando os parâmetros que foram estimados com a distribuição de Gumbel (Tabela 2) verifica-se um aumento, no valor da estimativa do parâmetro responsável pela dispersão dos dados ajustados à esta distribuição à medida que os resultados dos testes de germinação, frio e envelhecimento foram sendo usados. O teste que proporcionou maiores aumentos na dispersão dos dados foi o de envelhecimento.

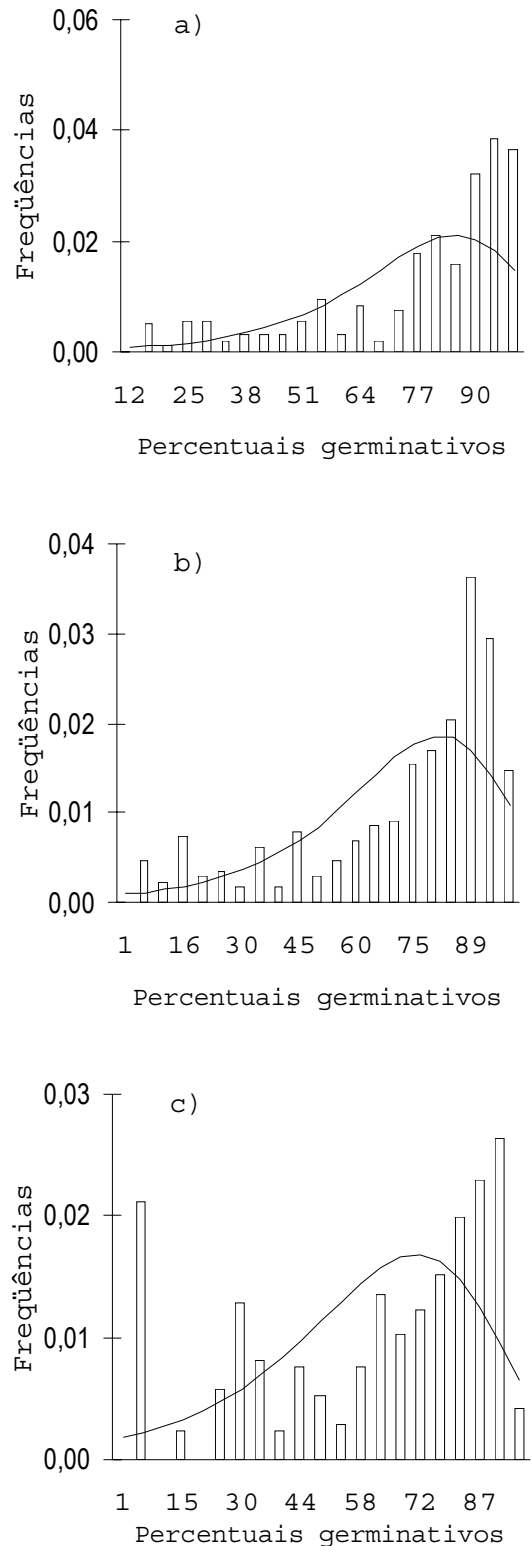


FIG. 4. Gráficos de porcentagens de ocorrências germinativas obtidas com os testes a) de germinação; b) do frio e c) do envelhecimento de sementes de milho, indicando o grau de aderência dos conjuntos de dados à distribuição de Gumbel.

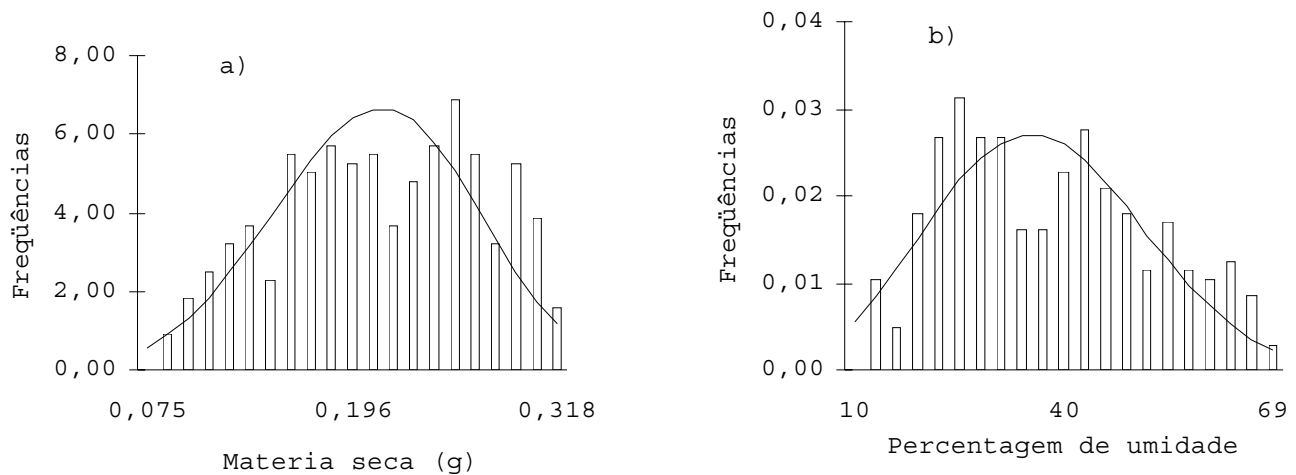


FIG. 5. Gráficos a) de matéria seca (g) e b) da percentagem de umidade de sementes de milho, indicando a aderência dos conjuntos de dados à distribuição de Weibull.

Entender esta variação é um campo de trabalho muito promissor e que trará respostas surpreendentes para a tecnologia de sementes. O parâmetro de escala obtido mudou de 17,43, quando estimado com os dados do teste de germinação (TG), para 21,87, para os dados do teste de envelhecimento (TE). Com o ajuste da distribuição Normal a estimativa do coeficiente de variação aumentou de 29,52% para 47,74%, resultado das avaliações obtidas com esses dois testes (TG e TE). Observando a Figura 1c é possível atribuir às medidas próximas de zero, primeira coluna à esquerda, como as responsáveis, em parte, pela dispersão observada.

O que estes resultados sugerem é que deve existir uma cautela antes do uso da análise de variância convencional para avaliar, até mesmo, a matéria seca durante experimentos de maturação. Os percentuais germinativos devem ser submetidos à uma análise que permita o uso de dados que não sigam a distribuição Normal. Existem, neste caso, mais duas opções, além da curva de resposta, já citada. A primeira, é o uso de modelos lineares generalizados enquanto que a segunda usa modelos loglineares com possibilidade do ajuste da distribuição de Weibull. A forma da distribuição de Weibull (Demétrio, 1993) não permite o seu ajuste usando a primeira sugestão. O segundo caso é uma boa opção quando o erro segue a distribuição de Gumbel (Collet, 1994). Os efeitos de híbridos podem ser comparados por variáveis “dummy” e separados uns dos outros enquanto que a evolução do processo de maturação pode ser modelado usando regressões não lineares (Potvin et al., 1990) que geralmente possuem um maior poder de explicação do que as lineares.

O que se espera com este tipo de relato é alertar sobre a possibilidade de se poder fazer o uso de outras distribuições estatísticas. Estes resultados não encerram a busca por outras distribuições, diferentes das que aqui foram estudadas, e que possam a vir a ser motivo de investigação. Isto deve ser incentivado, na medida do possível.

CONCLUSÕES

- ♦ Outras distribuições diferentes da Normal podem ser usadas para descrever dados de maturação de sementes de milho;
- ♦ a distribuição de Gumbel possui o maior valor da função de verossimilhança para as porcentagens de ocorrências germinativas;
- ♦ a distribuição de Weibull pode ser uma alternativa para dados acumulados de matéria seca e percentagem de umidade de sementes de milho.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. **Regras para análises de sementes**. Brasília, SNDA/DNDV/CLAV, 1992, 365p.
- CARNEIRO, J.W.P. Avaliação do desempenho germinativo de acordo com os parâmetros da função de distribuição de Weibull. **Informativo ABRATES**, Londrina, v.4, n.2, p.75-83, 1994.
- CÍCERO, S. & VIEIRA, R.D. Teste de frio. In: Vieira, R.D. & CARVALHO, N.M. (eds.). **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p.151-164.

- COLLET, D. **Modeling binary data**. London: CRC Press, 1993. 369p.
- COLLET, D. **Modeling survival data in medical research**. London: Chapman & Hall, 1994. 347p.
- COOKE, R.A.; MOSTAGHIMI, S. & WOESTE, F.E. VTFIT: A microcomputer-based routine for fitting probability distribution functions to data. **American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.9, n.4, p.401-408, 1993.
- COOKE, R.A. **VTFIT: a routine for fitting homogenous probability density functions. User documentation**. Blacksburg: Department of Agricultural Engineering, Virginia Polytechnic Institute, 1993. 21p.
- DEMÉTRIO, C.G.B. Modelos lineares generalizados na experimentação agrônômica. In: Simpósio de estatística aplicada à experimentação agrônômica, 5, Porto Alegre, 1993. **Resumos**. Porto Alegre: UFRGS, IM, DE, 1993. p.1-125.
- DIXON, W.J. & MERDIEN, K. **ANOVA and regression with BMDP 5V**. Los Angeles: Dixon Statistical Associates, 1992. 193p.
- ELLISON, A.M. Exploratory data analysis and graphic display. In: SCHEINER, S.M. & GUREVITCH, J. (eds.). **Design and analysis of ecological experiments**. New York: Chapman & Hall, 1993. p.14-45.
- FOX, A.G. Failure-time analysis, emergence, flowering, survivorship, and other waiting times. In: Scheiner S.M. & Gurevitch, J. (eds.). **Design and analysis of ecological experiments**. N. York: Chapman & Hall, 1993. p.253-289.
- GUMBEL, E.J. **Statistics of extremes**. New York: Columbia University Press, 1958. 357p.
- JOHNSON, N.L. & KOTZ, S. *Weibull distribution*. In: **Distribution in statistics: continous univariate distribution, 1**. New York: J. Willey & Sons, 1970a. p.250-271.
- JOHNSON, N.L., & KOTZ, S. *Extreme value distribution*. In: **Distribution in statistics: continous univariate distribution, 1**. New York: J. Willey & Sons, 1970b. p.272-295.
- KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D. & FRANÇA-NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. 218p.
- MARCOS-FILHO, J. *Teste de envelhecimento acelerado*. In: VIEIRA, R.D. & CARVALHO, N.M. (eds.). **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p.133-149.
- MEAD, R.; CURNOW, R.N. & HASTED, A.M. **Statiscal methods in agriculture and experimental biology**. London: Chapman & Hall, 1993. 335p.
- NETER, J.; KUTNER, M.H.; NACHTSHEIN, C.J. & WASSERMAN, W. **Applied linear statistical models**. 4.ed. Chicago: IRWIN, 1996. 1408p.
- POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN, 1977. 289p.
- POTVIN, C.; LECHOWICZ, M.J. & TARDIF, S. The statistical analysis of ecophysiological response curves obtained from experiments involving repeated measures. **Ecology**, Washington, v.71, n.4, p.1389-1400, 1990.
- SANTOS, C.T. **Linha de solidificação do endosperma como indicativo da qualidade fisiológica de sementes para a colheita de três híbridos de milho (*Zea mays* L.)**. Maringá: UEM, 1998. 91p. (Dissertação Mestrado).
- SCHEINER, S.M. Introduction: theories, hypotheses, and statistics. In: SCHEINER, S.M. & GUREVITCH, J. (eds.). **Design and analysis of ecological experiments**. New York: Chapman & Hall, 1993. p.46-68.
- SCOTT S.J.; JONES, R.A. & WILLIAMS, W.A. Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science*, Madson, v.24, n.2, p.1192-1199, 1984.
- SOKAL, R.R. & ROHLF, J.F. **Biometry**. New York: W.H. Freeman, 1981. 859p.
- WILKINSON, L. **Systat: The system for statistics**. Evanston: Systat Inc., 1990. 677p.
- WORLEY, J.W.; BOLLINGER, J.A.; WOESTE, F.E. & KLINE, K.S. Graphic distribution analysis (GDA). **American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.6, n.3, p.367-371, 1990.

