

Influência da umidade das sementes na capacidade de expansão de três genótipos de milho-pipoca (*Zea mays* L.)

Maria de Lourdes Santiago Luz, Valdecir Antoninho Dalpasquale, Carlos Alberto Scapim, Alessandro de Lucca e Braccini*, Márcia Regina Royer e Freddy Mora

Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá-Paraná, Brasil.

*Autor para correspondência. e-mail: albraccini@uol.com.br

RESUMO. A umidade das sementes é um dos fatores mais importantes na capacidade de expansão e essa capacidade de estourar adequadamente também depende do genótipo. Trabalhos publicados indicam que a umidade que proporciona a máxima expansão tem oscilado muito com resultados bastante conflitantes. Vários genótipos nacionais de milho-pipoca ainda não foram avaliados em relação à umidade ideal para promover a máxima capacidade de expansão. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da umidade no índice da capacidade de expansão (ICE) dos genótipos de milho-pipoca Zélia, IAC-112 e BRS-Ângela. Os graus de umidade das sementes avaliados foram 9, 12, 15, 18 e 21%. Para a população BRS-Ângela, a resposta máxima do ICE foi de 22,5 mL mL⁻¹ com ponto de máximo de 12,8% de umidade. O híbrido IAC-112, apresentou o ICE de 23,5 mL mL⁻¹ com umidade de 13,1% e para o híbrido Zélia, ICE de 25,0 mL mL⁻¹ com umidade de 12,7%. Esses resultados permitiram concluir que 13% de umidade, que coincide com o teor de água com que o milho é comercializado, é a melhor umidade para embalar sementes de milho-pipoca.

Palavras-chave: milho-pipoca, sementes, umidade, capacidade de expansão.

ABSTRACT. The influence of seed moisture content on the popping ability of three popcorn (*Zea mays* L.) genotypes. The seed moisture content is one of the most important characteristics in the popcorn popping ability and it depends on the popcorn genotype. Published articles are unconcluded to indicate the seed moisture, which promote maximum popping ability. Several national popcorn genotypes have not been evaluated yet in relation to the ideal seed moisture content to promote maximum popping ability. Thus, this study was carried out with the aim of studying the influence of seed moisture content on the popping ability index (PAI) of three popcorn genotypes. The three popcorn genotypes studied were: Zélia, 0+the IAC-112 hybrids and BRS-Ângela cultivar. The evaluated seed moisture contents were 9, 12, 15, 18 and 21%. For BRS-Ângela popcorn variety, the PAI maximum response was 22.5 mL mL⁻¹ with a maximum of 12.8% of seed moisture content. The IAC-112 breed showed PAI of 23.5 mL mL⁻¹ with the seed moisture content of 13.1% and for Zélia hybrid the maximum PAI of 25.0 mL mL⁻¹ was achieved with the seed moisture content of 12.7%. Thus it is possible to conclude that the 13% commercial seed moisture content is the best moisture to pack popcorn seeds.

Key words: popcorn, seed moisture content, popping ability.

Introdução

No Brasil, segundo estimativas do setor, a demanda anual de milho-pipoca é de 65 a 70 mil toneladas, sendo cerca de 15 a 20 mil toneladas importadas. Esse mercado tem passado por diversas mudanças nos últimos cinco anos. A primeira foi a introdução do sistema de parceria entre produtores e empacotadoras. Estas fornecem as sementes e garantem a compra do produto, desde que esteja

dentro do padrão de qualidade exigido.

Nesse tempo, o país começou a diminuir a dependência de sementes importadas com o lançamento do híbrido IAC-112 desenvolvido pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Antigamente, a maioria dos produtores utilizava sementes próprias, originadas de variedades locais ou de gerações avançadas de híbridos norte-americanos (Sawazaki, 1995). Apesar dos avanços, as pesquisas

brasileiras encontram-se restritas a poucos pesquisadores de instituições públicas e, mais recentemente, a algumas empresas privadas produtoras de sementes. Existem poucas variedades e híbridos de linhagens desenvolvidos no país (Matta e Viana, 2001). Justifica-se, inclusive, o gasto de recursos federais com o melhoramento de milho-pipoca devido ao seu elevado valor comercial.

A característica que permite avaliação qualitativa do milho-pipoca é a capacidade de expansão. Para o mecanismo de estouro da pipoca é importante o milho possuir pericarpo íntegro, uma vez que é essa estrutura que suporta elevada pressão interna na semente até atingir uma temperatura apropriada para expansão da pipoca. Contudo, se o pericarpo estiver trincado ou rompido, a pressão ideal poderá não ser atingida e, conseqüentemente, a pipoca não se expandirá totalmente.

Além dos fatores genéticos, pode-se inferir que a umidade das sementes, as condições do pericarpo e do endosperma, o método de secagem e a temperatura do pipocador são os principais fatores que afetam a capacidade de expansão do milho-pipoca (Zinsly e Machado, 1987; Song e Eckhoff, 1994; Sawazaki, 1995). Fatores ambientais podem ocasionar interpretações incorretas sobre a superioridade fenotípica quanto à capacidade de expansão de indivíduos em populações segregantes.

A umidade da semente é um dos fatores mais importantes na capacidade de expansão. A umidade que proporciona máxima capacidade de expansão varia com a população e com o método adotado para sua determinação. Trabalhos publicados indicam que a umidade que proporciona a máxima expansão pode oscilar muito com resultados bastante conflitantes.

Estudos de inúmeros pesquisadores com diversas populações de milho-pipoca indicaram que a variação da capacidade de expansão com a umidade tende a uma distribuição normal (Sawazaki, 1995). Song e Eckhoff (1994) observaram que a equação polinomial de segundo grau foi a que melhor descreveu a relação entre o índice de capacidade de expansão e a variação da umidade. Para os autores citados anteriormente, a função polinomial quadrática apresentou o modelo para a faixa de 11 a 14% de umidade e o ponto máximo para obtenção da capacidade de expansão foi de 13,1% de umidade. Nascimento e Boiteux (1994) avaliaram a influência da umidade da semente na capacidade de expansão de milho-pipoca, população "CNPH 001", entre 6,7 e 18,2%, observando que para sementes com teores de água mais elevados houve redução significativa da capacidade de expansão, cuja máxima foi obtida com

umidade de 10,2%.

Bemis (1959) e Huelsen (1960), citados por Dalbello (1995), constataram que o conteúdo ótimo de umidade para o volume máximo de expansão do milho-pipoca foi de 13,0 e 12,5%, respectivamente. Eldrege e Tomas (1959), citados por Haugh *et al.* (1976), observaram que o conteúdo de água para o máximo de expansão da pipoca variou entre 13 e 14%. No entanto, Haugh *et al.* (1976), ao avaliarem o volume de expansão de diversos híbridos, verificaram aumento do volume com conteúdo de água acima de 11,5% e os valores ótimos para a expansão foram obtidos com as umidades entre 12,5 e 15,5%. Hoseney *et al.* (1983) notaram a máxima expansão com umidade entre 12 e 15%, decrescendo fora desse intervalo.

Dados encontrados na literatura sobre o conteúdo de água que proporciona máxima expansão da pipoca estão entre 11 e 15%, cuja variação depende, também, do tamanho da semente (Zinsly e Machado, 1987) e da população. Entretanto, essas variações podem, em parte, ser devidas ao método utilizado para obtenção da umidade. Sawazaki *et al.* (1986) apresentaram estudos realizados por Bacchi e Zink (1970) que indicaram que o teor de água de sementes de milho de 11,5%, dado pela estufa a 105°C por 24 horas, correspondeu a 12,8% no Universal e a 13,7% no Steinlite. Nascimento e Boiteux (1994) concluíram que a padronização da umidade da semente é importante nos processos de identificação e seleção de genótipos superiores para o caráter capacidade de expansão. Song e Eckhoff (1994), para a determinação de umidade das sementes de milho-pipoca, utilizaram o método estufa 103 ± 1°C por 72 horas, adotado como padrão pela ASAE (1992). Tal metodologia foi aferida segundo titulação de Karl Fischer considerada padrão de referência básica (Grabe, 1987).

Portanto, diante dos dados conflitantes relatados na literatura quanto ao grau de umidade ideal para a máxima expansão da pipoca, realizou-se esse trabalho, com o objetivo de avaliar o efeito da umidade da semente no índice de capacidade de expansão de três genótipos de milho-pipoca.

Material e métodos

O presente estudo foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Sementes do Núcleo de Pesquisas Aplicadas à Agricultura (Nupagri), pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Estado do Paraná. Utilizaram-se três genótipos de milho-pipoca:

- BRS-Ângela: variedade de grãos brancos,

melhorada geneticamente a partir da CMS 43 e desenvolvida pela Embrapa Milho e Sorgo, de Sete Lagoas, Estado de Minas Gerais;

- Zélia: híbrido triplo de grãos amarelos e comercializado pela empresa Pioneer;
- IAC-112: híbrido simples modificado, procedente do Instituto Agrônomo de Campinas, Estado de São Paulo.

Os genótipos foram semeados na Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI) da Universidade Estadual Maringá, em setembro de 2002, utilizando o delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições. Os tratamentos culturais foram realizados de acordo com a recomendação para a cultura. Para cada parcela foi retirada uma amostra de 2 kg de sementes. A parcela foi constituída de 6 linhas de 5m, espaçadas de 0,8 x 0,2 m, constituindo uma área bruta de 24 m² e uma área útil de 16 m². As sementes foram colhidas manualmente, com umidade em torno de 15% e debulha mecânica. Após a colheita, as amostras foram expurgadas e colocadas em embalagens de polietileno de baixa densidade e armazenadas em câmara de germinação do tipo B.O.D. à temperatura de 10°C, com exceção das amostras que foram submetidas à expansão após a colheita.

Foram formados quinze tratamentos compostos por três genótipos e cinco umidades diferentes (9, 12, 15, 18 e 21%). A partir da amostra de 15%, foram obtidos os outros quatro níveis de umidade, dois por secagem (9 e 12%) e dois por umedecimento (18 e 21%). O processo de secagem foi realizado em amostras, com 300 g por tratamento (população e umidade), colocadas em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 40°C. Para o processo de umedecimento as amostras foram colocadas em sacos de material utilizado na confecção de sombrite, com 300 g por tratamento em um germinador mantendo as condições do ar de umedecimento à temperatura de 30°C e umidade relativa acima de 90%. Durante os processos de secagem e umedecimento foram efetuadas pesagens das amostras em balança com precisão de 0,01 g, em intervalos periódicos até que as amostras atingissem a faixa de umidade proposta.

As amostras de cada tratamento foram homogeneizadas, mantidas sob refrigeração a 10°C por uma semana e, posteriormente, determinada a umidade avaliando-se três subamostras de, aproximadamente, 15 g por tratamento. As determinações das umidades propostas foram realizadas pelo método de estufa. Todos os resultados de umidade dos genótipos de milho-pipoca foram apresentados em base úmida, na forma

percentual.

A umidade foi determinada usando-se o método direto baseado na estufa com circulação forçada de ar a 103°C $\pm$ 1°C, por 72 horas, em três repetições, conforme normas da *American Society of Agricultural Engineering* (ASAE, 1992).

Para o teste de expansão, foi utilizada um pipocador elétrico desenvolvido pela Embrapa Instrumentação Agropecuária, em São Carlos, Estado de São Paulo, adquirido pelo Núcleo de Pesquisas Aplicadas à Agricultura (Nupagri) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), Estado do Paraná. Tal equipamento possibilita a expansão do milho-pipoca com controle automático da temperatura e da velocidade de mistura das sementes (agitador). A capacidade de expansão de cada tratamento foi obtida pela razão entre o volume de pipoca expandida e o volume de sementes da amostra (30 mL). O volume de pipoca expandida foi medido em proveta de 2000 mL. As amostras de 30 mL de milho-pipoca foram submetidas a uma temperatura de 280°C por dois minutos, sob constante agitação, segundo metodologia desenvolvida pela Universidade Estadual de Maringá. Em seguida, determinou-se o índice de capacidade de expansão resultante da pipoca coletada em mililitros por mililitros (v/v). Foram realizadas cinco repetições analíticas, como subamostras para cada repetição de campo.

Foi utilizado o delineamento inteiramente ao acaso para análise do experimento, e as amostras foram retiradas da parcela por população, sendo realizadas cinco repetições analíticas. Para a análise de diferentes umidades, os tratamentos foram arranjados no esquema fatorial 3x5 (população e umidade), perfazendo 75 unidades experimentais. Antes da análise de variância, os erros do modelo adotado foram submetidos aos testes de Lilliefors e Levene para verificação das pressuposições básicas de normalidade e homocedasticidade. Para análise do comportamento do índice de capacidade de expansão, em função da umidade das sementes, foram ajustados modelos estatísticos por meio da técnica de análise de regressão. Foram adotados os seguintes critérios para a escolha do melhor modelo de regressão: regressão significativa, desvios da regressão não significativos e análise de resíduos. As pressuposições básicas para análise de variância foram realizadas no aplicativo computacional SAS. A análise de variância e o teste de médias Student-Newman-Keuls foram realizados no programa SAEG 8.0.

Resultados e discussão

Os resultados da análise de variância revelaram diferenças significativas, em nível de 5% de probabilidade, para os efeitos principais e a interação entre genótipos e umidade. A interação significativa indica que houve resposta diferenciada dos genótipos em relação às umidades avaliadas para a variável índice de capacidade de expansão (Tabela 1).

O resultado do desdobramento da interação está apresentado na Tabela 2. O propósito é de avaliar os genótipos, dentro de cada umidade estudada. O índice de capacidade de expansão do híbrido Zélia foi significativamente maior nas umidades 9, 15 e 18%. Para as umidades 12 e 21%, não houve diferenças significativas, em nível de 5% de probabilidade.

No desdobramento de grau de umidade, dentro de cada população, empregou-se a análise de regressão. Para os três genótipos foi possível estimar equações polinomiais da raiz quadrada (Figura 1). Com base nessas equações foram estimados os pontos de máximo e respostas máximas (Tabela 3). Para a população BRS-Ângela, a resposta máxima do ICE_{max} foi de 22,5 mL mL⁻¹ com ponto de máximo de 12,8% de umidade. O híbrido IAC-112, apresentou o ICE_{max} de 23,5 mL mL⁻¹ com umidade de 13,1% e para o híbrido Zélia, ICE_{max} de 25 mL mL⁻¹ com umidade de 12,7%.

Esse comportamento polinomial quadrático ou da raiz quadrada é corroborado por vários autores. Hosney *et al.* (1983) observaram que, sob baixos teores de água nas sementes (9,2 a 9,9%), o índice de capacidade de expansão foi bastante prejudicado, possivelmente devido à ocorrência insuficiente de água para formar vapor e, conseqüentemente, a explosão. Entretanto, para altos teores de água, em torno de 19%, ocorre um enfraquecimento do pericarpo, causando, assim, uma liberação precoce de pressão. Para os autores, o conteúdo de água ideal para a máxima expansão foi de 14,4%. De acordo com Maier (2000), conteúdos de água demasiadamente altos ou baixos resultam numa expansão incompleta. Para Haugh *et al.* (1976), aumentos adicionais acima de 15,5% de umidade causam redução da expansão do milho-pipoca.

Os resultados observados neste estudo, em que o índice máximo de expansão para os três genótipos foi obtido com o grau de umidade variando de 12,7 a 13,1%, correspondem aos resultados encontrados por Haugh *et al.* (1976).

Song e Eckhoff (1994), ao avaliarem o grau ótimo de umidade para a máxima expansão da pipoca de diferentes tamanhos, concluíram que o valor ótimo de umidade em amostras sem separação

Tabela 1. Análise de variância dos resultados obtidos para o índice de capacidade de expansão

F.V.	Índice de capacidade de expansão (mL mL ⁻¹)		
	GL	QM	F
Umidade (U)	4	759,124	1146,02*
População (P)	2	25,828	38,99*
U x P	8	5,668	8,56*
Resíduo	60	0,662	
C.V. (%)		4,75	

*Significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 2. Resultados médios do índice de capacidade de expansão (mL mL⁻¹) das sementes de três genótipos de milho-pipoca (Maringá, Estado do Paraná, 2002)

Umidade (%)	Índice de capacidade de expansão (mL mL ⁻¹)		
	BRS-Ângela	IAC-112	Zélia
9	16,26 b	15,60 b	19,20 a
12	23,94 a	24,26 a	24,48 a
15	22,80 b	23,72 b	25,18 a
18	10,56 c	12,66 b	14,78 a
21	8,12 a	7,66 a	7,74 a

† Letras diferentes, na mesma linha, indicam diferenças significativas pelo teste de Student-Newman-Keuls, em nível de 5% de probabilidade.

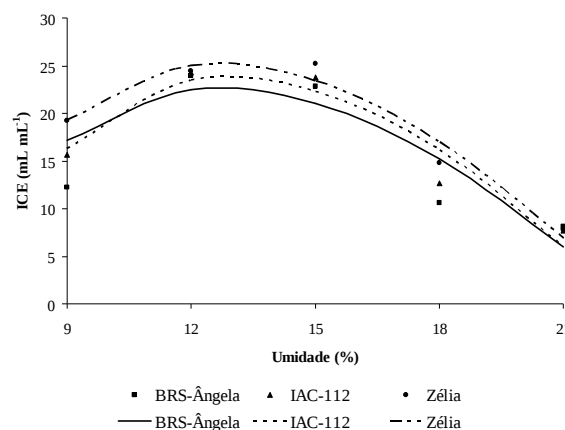


Figura 1. Curvas estimadas para o índice de capacidade de expansão, em função do grau de umidade das sementes de três genótipos de milho-pipoca (Maringá, Estado do Paraná, 2002).

Tabela 3. Equações de regressão ajustadas para o índice de capacidade de expansão ($\hat{Y}$), em função da umidade (U) e o correspondente coeficiente de determinação (R^2)

Genótipos	Equações ajustadas	R^2 (%)
BRS-Ângela	$\hat{Y} = -183,52 + 115,385\sqrt{U} - 16,1568U$	84
IAC-112	$\hat{Y} = -223,25 + 136,389\sqrt{U} - 18,8452U$	91
Zélia	$\hat{Y} = -199,84 + 126,0\sqrt{U} - 17,65U$	96

por tamanho foi de 13,1%. Esses resultados também se tornam similares aos obtidos nesse estudo, em que a metodologia adotada pelo autor, para a determinação de umidade, foi a mesma desse trabalho, ou seja, secagem em estufa a 103°C por 72 horas, de acordo com ASAE (1992). Sawazaki (1995) afirma que o uso de híbridos em milho-pipoca foi a maior contribuição para o melhoramento da cultura.

Lyerly (1942), citado por Haugh *et al.* (1976), assegura que a capacidade de expansão está correlacionada com o tamanho e forma das sementes, e que sementes pequenas, curtas e arredondadas apresentavam maior capacidade de expansão.

Esses resultados permitem concluir que a umidade de 13%, que coincide com o teor de água com que o milho é comercializado, é a melhor umidade para embalar sementes de milho-pipoca.

Conclusões

O grau ótimo de umidade para a obtenção da máxima expansão é de 12,8% para BRS-Ângela, 13,1% para IAC-112 e 12,7% para Zélia.

A umidade de 13%, que coincide com o teor de água com que o milho é comercializado, é a melhor umidade para embalar sementes de milho-pipoca.

Referências

- ASAE. *Moisture measurement unground grain and seed*. 39 ed. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineering: standards, engineering practices and data, 1992. 404p.
- DALBELLO, O. *Eficiência do processo de secagem do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e milho-pipoca (*Zea mays* L.)*. 1995. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1995.
- GRABE, D.F. Report of the Seed Moisture Committee 1983-1986. *Seed Sci. Technol.*, Zürich, v. 15, p. 451-462, 1987.
- HAUGH, W.A. *et al.* Physical properties of popcorn. *Trans. ASAE*, St Joseph, v. 19, n. 1, p. 168-171, 1976.
- HOSENEY, R.C. *et al.* Mechanism of popcorn popping. *J. Cereal Sci.*, London, v. 1, p. 43-52, 1983.
- MAIER, D.E. Secado y acondicionamiento del maíz pisingallo. In: YANUCCI, D. (Ed.). *Secado: Libro de actualización*. n.1. Buenos Aires: Granos e Postcosecha Latinoamericana de la semilla al consumo, 2000. p. 41-51.
- MATTA, F.P.; VIANA, J.M.S. Testes de capacidade de expansão em programas de melhoramento de milho pipoca. *Sci. Agric.*, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 845-951, 2001.
- NASCIMENTO, W.M.; BOITEUX, L.S. Influência do grau de umidade do grão na capacidade de expansão de milho-pipoca. *Hortic. Bras.*, Brasília, v. 12, n. 2, p. 245-251, 1994.
- SAWAZAKI, E. *et al.* Influência do tamanho e umidade do grão na expansão da pipoca South American Mushroom. *Bragantia*, Campinas, v. 45, n. 2, p. 363-370, 1986.
- SAWAZAKI, E. *Melhoramento do milho-pipoca*. São Paulo: Documentos do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), 1995.
- SONG, A.; ECKHOFF, S.R. Optimum popping moisture content for popcorn kernels of different sizes. *Cereal Chem.*, St Paul, v. 71, n. 5, p. 458-460, 1994.
- ZINSLEY, J.R.; MACHADO, J.A. Milho-pipoca. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P. (Ed.). *Melhoramento e Produção de Milho*. 2. ed. Campinas: Fundação Cargil, 1987. v. 2, p. 413-421.

Received on October 26, 2004.

Accepted on September 15, 2005.