

RESFRIAMENTO DE GRÃOS

(nota técnica)

Prof. Adílio Flauzino de Lacerda Filho¹

Eng^a. Agric. Agélica Demito²

O resfriamento de grãos agrícolas é uma técnica eficaz e econômica para a manutenção das qualidades desejadas ao produto, quando a sua utilização se destina à alimentação humana, animal ou como sementes.

Várias são as vantagens técnicas e econômicas da aplicação do resfriamento artificial em sistemas de armazenagem a granel e ensacados, principalmente no que se refere ao controle de insetos, fungos e redução da quebra técnica devido à respiração.

Em muitas regiões do globo, especialmente nas de clima tropical, sub tropical e temperado a utilização da técnica de resfriamento com ar ambiente é extremamente limitada por ser possível a utilização apenas de recursos naturais. Neste caso, o resfriamento artificial do ar tem sido empregado, com sucesso, para preservar a qualidade dos grãos agrícolas.

No Brasil e em outras regiões de climas semelhantes, favoráveis ao desenvolvimento de insetos-praga, fungos e outros organismos, a aplicação das técnicas de resfriamento, utilizando o ar resfriado artificialmente, tem se mostrado eficiente e econômica.

O conhecimento das características físicas, químicas e biológicas dos grãos é de grande importância para o sucesso da aplicação dessa técnica. Dentre as variáveis influentes no processo destacam-se a temperatura, a umidade relativa de do ar intergranular, e o teor de água dos grãos. Esses são fatores que se interagem podendo propiciar o desenvolvimento de insetos-praga e de microrganismos, principalmente fungos, que poderão causar danos aos grãos, levando-os às perdas totais, do ponto de vista biológico e sanitário.

Noyes e Navarro (2002) afirmaram que pelo fato de os insetos não se desenvolverem satisfatoriamente em temperaturas abaixo de 20 °C, eles não causam grandes problemas nas regiões de clima frio. Informaram que na faixa tropical do globo terrestre a temperatura ambiente se mantém acima de 20 °C durante 12 meses do ano, e nas regiões de clima subtropical a temperatura ambiente varia entre 10 e 20 °C durante 4 a 12 meses. Já nas regiões frias a amplitude térmica se

¹ Professor Associado I do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: alacerda@ufv.br. Fone: (31)3899-1872.

² Engenheira Agrícola, Assessora Técnica da Cool Seed Resfriamento Artificial. E-mail: demito@coolseed.com.br. Fone: (45)3526-5592.

dá entre 10 e 20 °C, durante períodos que variam entre 1 e 4 meses. Com base nessas observações, concluíram ser impossível resfriar grãos armazenados nas regiões cujas temperaturas ultrapassem os limites de 20 °C.

Segundo Navarro et al. (2002) a maioria dos insetos que infestam os grãos armazenados é de origem tropical e subtropical e se espalharam em função da dinâmica de comercialização dos produtos agrícolas. Por não controlarem a temperatura do corpo, a sua reprodução e o seu desenvolvimento aumentam conforme aumenta a temperatura, considerando-se certos limites. Conseqüentemente a maioria deles torna-se inativo em temperaturas baixas (10 a 15 °C) e morrem em temperaturas mais baixas (0 a 5 °C). A sobrevivência do *Tribolium cataneum*, do ovo ao adulto, é alta em temperaturas entre 25 e 27,5 °C, e reduz muito em temperaturas inferiores a esta. Informaram que a produção dos ovos varia com a espécie de insetos, com a temperatura, com o teor de água dos grãos e com a disponibilidade e qualidade do alimento. O comportamento dos insetos em relação à temperatura é ilustrado no Quadro 1.

Quadro 1. Comportamento dos insetos em relação à temperatura (a espécie do inseto, o estágio de desenvolvimento e o teor de água dos grãos exercem influencia sobre o comportamento)

Faixa	Temperatura (°C)	Efeito
Letal	50-60	morte em minutos
	45-50	morte em horas
Supra ótima	35	não se desenvolve
	33-35	desenvolvimento lento
Ótima	25-33	máximo desenvolvimento
Sub ótima	13-25	desenvolvimento lento
	13-20	não se desenvolve
	5-13	morte em semanas ou meses
Letal	0-5	morte em semanas
	(-10)-0	morte em dias ou semanas
	(-25)-(-15)	morte em horas ou inutos

Fonte: Navarro et al. (2002)

Pomeranz (1974) afirmou que os principais fatores de controle da respiração dos grãos são o teor de água, a temperatura de armazenagem, a aeração e o histórico do produto. Dos vários fatores influentes, o teor de água é o principal deles.

Burrell (1974) avaliando o metabolismo de aquecimento na massa de grãos, causando perdas por contaminações fúngicas, observou que a taxa de respiração depende do teor de água, da temperatura, da intensidade da presença de micélios, do índice de grãos danificados e da quantidade pó.

No Brasil se observam boas estruturas de armazenagem. Entretanto, para a boa conservação dos grãos, são necessários modernos sistemas de aeração e recursos humanos capacitados para obter resultados eficientes na operação. Em conseqüência, não são facilmente encontrados resultados de pesquisas que contemplem o tema de forma satisfatória, apresentando resultados conclusivos sobre a utilização adequada dessa técnica.

O emprego da tecnologia de resfriamento artificial do ar para resfriar grãos armazenados não é uma técnica nova, porém pouco utilizada nos países de clima tropical e subtropical. Nos últimos seis anos, a sua utilização no Brasil vem acontecendo de forma econômica e eficiente.

Nos Estados Unidos da América, conforme citações de Mayer e Navarro (2002a), algumas pesquisas foram realizadas com resfriamento artificial de grãos utilizando ar natural. Alguns procedimentos foram realizados com grãos úmidos, antes da secagem, com o objetivo de economizar combustível. Outras pesquisas realizadas, citadas pelos referidos autores, com resfriamento de trigo, resultaram em requerimentos de energia de 4 kWh/t, para resfriar 560 t do produto, com valores médios de redução da temperatura de 28 para 14 °C. Em outro experimento observou-se a necessidade de 4,7 kWh/t para resfriar 699 t de trigo de 37 para 19 °C, em valores médios. A Tabela 1 contém resultados experimentais comparativos, sobre resfriamento de grãos de trigo em regiões de clima subtropical.

Tabela 1. Comparação dos resultados experimentais obtidos relativo ao consumo de energia para resfriar trigo em região de clima subtropical

Capacidade do silo	Teor de água (% b.u.)	Temperatura (°C)		Energia (kWh/t)		Sistema de operação	Isolamento
		Inicial	Final	Única passagem	Armazenagem prolongada		
560	11,0	28,0	14,0 ^a	4,00	1,8	contínua	sem
699	11,0	37,0	19,0 ^a	4,65	-	contínua	sem
863	12,0	38,0	18,0 ^a	4,70	-	contínua	sem
2.930	11,0	29,0	15 ^a -09 ^b	4,80	3,8	recircular	com
5.230	11,2	27,0	15 ^a -05 ^b	-	3,3	recircular	com
1.650	09,0	34,0	15 ^a -10 ^b	5,00	2,7	recircular	com

(^a) passagem única; (^b) armazenagem prolongada.

Fonte: Mayer e Navarro (2002a).

Estudos de caso realizados por Rulon e colaboradores, citados por Mayer e Navarro (2002a), utilizando um equipamento com potência de 55 kW e avaliando, comparativamente, o custo operacional anual do resfriamento e da aplicação de inseticidas para o controle de pragas em milho de pipoca, concluíram que o custo da aeração mais a fumigação foi aproximadamente 120% superior ao custo do resfriamento. Com o mesmo equipamento, resfriaram trigo colhido no período de verão, no meio oeste americano. O custo operacional anual foi de U\$ 1,47/t para o resfriamento e de U\$ 2,93/t para a fumigação mais aeração.

Mayer e Navarro (2002a) informaram sobre a extensão do uso do resfriamento artificial para a conservação dos grãos armazenados em diferentes países da Europa tais como Alemanha, Inglaterra, França, Itália, Espanha etc. Na Alemanha a técnica de resfriamento foi iniciada com pequena quantidade de milho, na década de 1970, aumentando-se o interesse com base nos resultados obtidos.

Holzinger, citado por Mayer e Navarro (2002a), afirmou que o aquecimento dos grãos é mais acentuado para as oleaginosas como o girassol e a canola. As oleaginosas não são consideradas estáveis durante um período longo de armazenagem em temperatura de 22 °C e teor de água entre 6 e 8% b.u.. Com base nas pesquisas realizadas por Kreyger, citados por Mayer e Navarro (2002a), concluíram que o tempo de armazenagem pode ser estendido por um fator 10 se a canola for armazenada a 10 °C e 8% b.u., ou 160 semanas, em comparação com a armazenagem a 25 °C e 8% b.u., durante apenas 16 semanas. Já Skrigan, citado pelos mesmos autores, informou que a armazenagem segura de canola pode ser feita à temperatura entre 10 e 12 °C e teor de água de 12% b.u.. Na Inglaterra foram realizadas pesquisas com resfriamento de cevada (McLean e Barlett, citados por Mayer e Navarro, 2002a). Utilizaram silos de 800 t e a cevada tinha 13,2% b.u. O resfriamento foi de 29,3 para 13,6 °C, em 236 h. O teor médio de água da cevada após o resfriamento foi de 12,7% b.u. A temperatura do ar na entrada da massa era $11,2 \pm 1,4$ °C e a umidade relativa média era de $72,4 \pm 5,4\%$. As condições ambientes variaram de 10,4 a 24,9 °C e de 33 a 100%. O consumo de energia foi de 3,73 kWh/t, com variação na potência requerida entre 12,8 e 14,8 kW.

No Brasil, especialmente para a soja por ser a principal "commodity", apresenta elevado teor de óleo e é um dos principais ingredientes da ração animal, resultando na produção de carne leite e ovos para consumo humano, a aplicação da técnica de resfriamento torna-se de fundamental importância quando se tem por objetivos preservar a qualidade do produto, controlar insetos-praga e microrganismos. Principalmente devido à prática de armazenar o produto com teor de água (14% b.u.) acima das recomendações técnicas para a armazenagem em ambiente natural (12% b.u.),

durante períodos aproximados de 6 meses, é que a técnica de resfriamento artificial dos grãos passa a ter grande aplicabilidade com significativos resultados econômicos. A tabela 2 contém alguns valores de umidade de equilíbrio de alguns produtos, para diferentes temperaturas de armazenagem.

O milho, por ser o principal componente da ração animal e ser um dos principais alimentos na dieta do brasileiro, apresenta importância econômica semelhante à da soja, é muito susceptível à infestação por insetos-praga e contaminação por fungos, também apresenta características econômicas para a aplicação das técnicas de resfriamento para a sua boa conservação.

Tabela 2. Valores de umidade de equilíbrio para alguns produtos, sob diferentes condições de temperatura e de umidade relativa

Produtos	T °C	Umidade de equilíbrio (% b.u)									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	99
Milho	15	6,08	7,91	9,34	10,64	11,94	13,31	14,88	16,83	19,79	27,81
	20	5,54	7,38	8,83	10,15	11,46	12,85	14,43	16,40	19,39	27,49
	25	5,03	6,90	8,36	9,69	11,02	12,24	14,01	16,01	19,02	27,19
	30	4,57	6,46	7,93	9,27	10,61	12,03	13,63	15,65	18,68	26,92
	35	4,14	6,04	7,53	8,89	10,23	11,66	13,28	15,31	18,37	26,92
Soja	15	1,50	3,94	5,83	7,53	9,22	10,99	12,99	15,47	19,15	18,86
	20	1,21	3,66	5,55	7,21	8,96	10,75	12,76	15,25	18,95	28,71
	25	0,92	3,38	5,29	7,02	8,72	10,51	12,53	15,04	18,76	28,56
	30	0,64	3,12	5,04	6,78	8,49	10,29	12,32	14,83	18,57	28,41
	35	0,38	2,87	4,79	6,54	8,26	10,07	12,11	14,64	18,39	28,28
Arroz	15	6,97	8,37	9,48	10,50	11,52	12,60	13,85	15,42	17,82	24,53
	20	6,59	8,01	9,13	10,15	11,18	12,27	13,52	15,11	17,53	24,28
	25	6,25	7,67	8,80	9,83	10,86	11,97	13,23	14,82	17,26	24,05
	30	5,93	7,36	8,49	9,53	10,57	11,68	12,95	14,56	17,01	23,84
	35	5,63	7,07	8,21	9,26	10,30	11,42	12,70	14,31	16,77	23,64

Nota: Os valores foram estimado com base na equação de Chung-Pfost. (Silva, 2000).

Ressalta-se que o desenvolvimento de fungos é intensificado quando no ambiente de armazenagem se observam temperaturas superiores a 20 °C e umidade relativa acima de 70%. Pelo conteúdo da Tabela 2 pode ser observado o valor do teor de água dos grãos, nas temperaturas

consideradas, que permitem estabelecer condições de armazenagem desfavoráveis ao desenvolvimento de insetos-praga e de fungos.

O conhecimento da composição dos grãos é um fator importante na busca das soluções técnicas para a sua conservação e para a preservação das suas qualidades nutricionais.

A soja possui 60% de óleo e proteína, considerando-se a massa média de matéria seca. A composição remanescente é constituída principalmente por carboidratos (35%) e cinzas (5%), conforme informou Liu (1997). Considerando-se que a soja, para a armazenagem segura em ambiente natural poderá ter, no máximo, 13 % b.u., a sua composição passa a ser: proteínas – 35%, óleo – 17%, carboidratos – 31% e cinzas – 4,4%. A Tabela 3 contém informações sobre a composição média considerando as partes estruturais da semente de soja.

Tabela 3. Composição aproximada da semente de soja considerando a sua estrutura

Parte estrutural	Grão inteiro (%)	Composição química (% da matéria seca)			
		Proteína	Lipídios	Carboidratos	Cinzas
Casca	8,0	9,0	1,0	86,0	4,3
Eixo hipocótilo	2,0	41,0	11,0	43,0	4,4
Cotilédone	90,0	43,0	32,0	29,0	5,0
Grão inteiro	100,0	40,0	20,0	35,0	5,0

Fonte: Liu (1997).

Durante a sua formação, os grãos de soja armazenam lipídios nas células, na sua maioria triglicerídeos. O óleo refinado contém mais de 99% de triglicerídeos, enquanto que o óleo cru contém entre 95 e 97%. A composição de ácidos graxos livres no óleo cru varia entre 0,3 e 0,7%, para os grãos que não foram danificados ou submetidos a condições de estresse durante o manuseio. Entretanto, no óleo refinado é desejável que esse nível seja reduzido para valores inferiores a 0,05%.

Além das perdas de qualidade dos grãos observadas na lavoura, outras perdas ocorrem durante a colheita, o pré-processamento e a armazenagem. Algumas das causas dessas perdas incluem os danos causados por impacto e umidade inadequada durante a colheita, estresses térmico e impacto durante a secagem e, durante a armazenagem, o envelhecimento dos grãos, a infecção por microrganismos e infestação por insetos e outras pragas.

Liu (1997a) avaliou as perdas da qualidade de soja armazenada nas seguintes condições de temperatura e umidade relativa, respectivamente: 25 °C e 50%, 25 °C e 85%, 35 °C e 50% , e 35 °C e 85%. Observou que houve decréscimo na porcentagem de proteína possível de ser extraída, tanto para os grãos inteiros quanto para os desengordurados, com maior problema para a condição de

maior temperatura e umidade relativa. Observou que o teor de água no qual os grãos são armazenados apresenta forte influência sobre a extratibilidade das proteínas da soja.

Narayan e colaboradores, citados por Liu (1997a), verificaram que ocorreram outras modificações dos componentes da soja durante a fase de armazenagem em condições de ambiente desfavorável, como o aumento do nitrogênio não protéico, de peróxidos e de ácidos graxos livres, decréscimo de açúcares e de inibidores de tripsina, decomposição de fosfolipídios, dentre outros.

Liu (1997a) afirmou que as variações físico-químicas e biológicas que ocorrem na soja durante a armazenagem são controladas por três fatores: temperatura de armazenagem, umidade relativa e tempo. Temperatura e umidade relativa elevadas, durante longo tempo de armazenagem, propiciam incrementos de danos aos grãos. Agrawal e Siddiqui, citados por Liu (1997a), afirmaram que a temperatura e teor de água ótimos para a armazenagem de soja são, respectivamente, 5 °C e 11% b.u.. Esta informação se baseou em análises de germinação, de produção de ácidos graxos livres e lixiviação de açúcares.

Conforme Proctor (1997) a neutralização do óleo consiste na remoção dos ácidos graxos livres, os quais são separados do óleo pela adição de álcali, na forma de hidróxido de sódio. Como resultado são produzidos sais de sódio ou sabões, os quais são removidos por meio de centrifugação. Podem ocorrer, no processo, perdas residuais de triglicerídeos, fosfolipídios, pigmentos e insolúveis. Informou que a quantidade de hidróxido de sódio utilizado pode ser calculado por meio da equação 1.

$$\text{alcali (\% em peso)} = \frac{\% \text{ ácido graxo livre} \times 0,142 + \text{excesso de NaOH(\%)} \times 100}{\text{NaOH (\%)} \text{ no alcali}} \quad (1)$$

Conclusões:

A consulta bibliográfica realizada permite obter algumas conclusões:

- 1) o resfriamento artificial de grãos armazenados permite melhorar as condições de preservação dos grãos durante períodos prolongados;
- 2) o resfriamento artificial de grãos proporciona um ambiente desfavorável ao desenvolvimento de insetos-praga na massa de grãos, além de inibir o desenvolvimento de algumas espécies fúngicas;
- 3) a prática do resfriamento artificial dos grãos armazenados em silos ou graneleiros permite a conservação das características originais do produto, sob as condições climáticas tropicais, subtropicais e temperadas, durante períodos prolongados de tempo;
- 4) só é possível promover o abaixamento e a equalização da temperatura da massa de grãos armazenados em ambiente de clima tropical e subtropical por meio de resfriamento artificial.

5) o resfriamento artificial permite reduzir o índice de quebra técnica devido a respiração por reduzir a atividade fisiológica os grãos.

Literatura consultada

Burrell, N.J. Chilling. In.: Christensen, C.M. **Storage of cereal grain and their products**. St. Paul (Minnesota): AACC. 1974. p.420-453.

Liu, K. Biological and compositional changes during soybeans maturation, storage and germination. In.: Liu, K. **SOYBEANS chemistry, technology, and utilization**. New York: ITP. 1997a. p. 114-136.

Liu, K. Chemistry and nutritional value of soybeans components. In.: Liu, K. **SOYBEANS chemistry, technology, and utilization**. New York: ITP. 1997. p. 25-113.

Mayer, D.E.; Navarro, S. Chilling of grain by refrigerated air. In.: Navarro, S.; Noyes, R. **The mechanics and physics of modern grain aeration management**. New York: CRC Press. 2002a. p.489-560.

Navarro, S.; Nomes, R.; Jayas, D.S. Stored grain ecosystem na heat, and moisture transfer in grain bulks. In.: Navarro, S.; Noyes, R. **The mechanics and physics of modern grain aeration management**. New York: CRC Press. 2002. p. 35-78.

Noyes, R.; Navarro, S. Operating aeration systems. In.: Navarro, S.; Noyes, R. **The mechanics and physics of modern grain aeration management**. New York: CRC Press. 2002. p. 315-412.

Proctor, A. Soybean oil extraction and processing. In.: Liu, K. **SOYBEANS chemistry, technology, and utilization**. New York: ITP. 1997. p. 297-346.

Pomeranz, Y. Biochemical, functional, and Changes during storage. In.: Christensen, C.M. **Storage of cereal grain and their products**. St. Paul (Minnesota): AACC. 1974. p.56-114.

Silva, J. de S. e; Berbert, P.A.; Afonso, A.D.L.;Rufato, S. Qualidade de grãos. In.: Silva, J. de S. e. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil. 2000. p. 63-105.