SECAGEM DE SEMENTES DE SOJA EM SILO COM DISTRIBUIÇÃO RADIAL DO FLUXO DE AR

LUIZ CARLOS MIRANDA
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Walter Rodrigues da Silva

**Tese apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do Título de
Doutor em Agronomia, Área de
Concentração: Fitotecnia**

PIRACICABA
Estado de São Paulo-Brasil
Abril-1997

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Miranda, Luiz Carlos

Secagem de sementes de soja em silo com distribuição radial do fluxo de ar /
Luiz Carlos Miranda. - Piracicaba, 1997.
76 p. : il.

Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997.
Bibliografia.

1. Secador 2. Secagem 3. Semente 4. Silo 5. Soja I. Título.

CDD 633.34

SECAGEM DE SEMENTES DE SOJA EM SILO COM DISTRIBUIÇÃO RADIAL DO FLUXO DE AR

LUIZ CARLOS MIRANDA

Aprovada em: 17/06/1997

Comissão Julgadora:

**Prof. Dr. Walter Rodrigues da Silva
Prof. Dr. Júlio Marcos Filho
Prof. Dr. José Francisco Ferraz de Toledo
Prof. Dr. Francisco do Amaral Villela
Prof. Dr. José de Barros França Neto**

**ESALQ/USP
ESALQ/USP
ESALQ/USP
UFPeI
Embrapa-Soja**

**Prof. Dr. Walter Rodrigues da Silva
Orientador**

**A meus pais João e Cacilda (in memorian),
aos tios Vicente e Nathália**

Ao Sr Hilário e Rosa Sgobero (in memorian)

**A minha esposa Zilda e
meus filhos Helen e Junior**

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Walter Rodrigues da Silva, pela orientação, amizade e palavras seguras e oportunas.

À EMBRAPA, através do Serviço de Produção de Sementes Básicas, na pessoa do seu Gerente Geral, Dr. José Rozalvo Andrigueto, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão de bolsa de estudos.

Ao corpo docente da ESALQ/USP, especialmente aos Professores Doutores Francisco Ferraz de Toledo, Júlio Marcos Filho, Sílvio Moure Cícero, José Otávio Machado Menten, Gil Miguel de Souza Câmara, Antonio Luiz Fancelli e Ricardo Victoria Filho pela atenção e apoio.

Ao Prof. Dr. Cláudio Cavariani, pela valiosa colaboração e sugestões espontâneas.

Ao Engenheiro Agrônomo Dr. Carlos Alberto Arrabal Arias, e à Dra Maria Cristina Neves de Oliveira pelas valiosas sugestões e colaboração nas análises estatísticas.

Aos colegas de curso, particularmente à Elir de Oliveira, Cláudio Takeda, Odanil M. de C. Leite, Luiz Fernando Sanglade Marchiori e Raquel Foroni Castelani, pela colaboração e momentos compartilhados.

Aos Engenheiros Agrônomos Maria Heloisa D. Moraes, Helena Maria C. P. Chamma e Ana Dionísia L. C. Novembre, pela colaboração.

À Senhora Ilze Helena C. G. das Neves, e ao Senhor Hodair Luiz Banzatto Junior pela colaboração e companheirismo.

Ao Engenheiro Agrônomo Pedro Abel Vieira Júnior, ao técnico agrícola Ubirajara Luiz Bruel, e aos Senhores José Luiz Garcia, Sidnei Aparecido Pereira de Castro, Antonio Divonsir Ferreira e João Nonda Bezusko pelas sugestões e colaboração na execução dos trabalhos de campo.

À Bióloga Maria de Fátima Zorato, aos engenheiros agrônomos Zilda de Fátima S. Miranda, Marcia Midori Y. Sakamoto e Nádia Cristina Astafeiefe e à Senhora Sônia Regina Moraes pela valiosa colaboração na execução das análises de laboratório.

À meus irmãos Josélia, Pedrinho, Maria Cândida e cunhados Osmar e Nadir pelos exemplos, apoio e incentivo à minha carreira profissional.

À EMBRAPA, Serviço de Produção de Sementes Básicas/Gerência Local de Ponta Grossa, na pessoa do seu Gerente Local, Dr. José Carlos Monken Menon e Centro Nacional de Pesquisa de Soja, na pessoa do seu Chefe, Dr. José Francisco Ferraz de Toledo, pelo apoio e suporte para execução deste trabalho.

À ROTA Indústria de Máquinas Agrícolas Ltda., na pessoa do seu Presidente, Dr. Rogério Cruz Moreira, pelo apoio e cessão dos equipamentos.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização do curso.

ÍNDICE

	Página
Resumo.....	viii
Abstract.....	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. Tratamentos e amostragem.....	17
3.2. Monitoramento físico da secagem.....	22
3.2. 1.Temperatura e umidade relativa do ar ambiente	22
3.2. 2.Pressão de vapor e umidade relativa e do ar insuflado.....	22
3.2. 3.Pressão estática do ar insuflado.....	22
3.2. 4.Temperatura da massa de sementes.....	22
3.2. 5.Variação da temperatura na massa de sementes.....	23
3.2. 6.Teor de água das sementes.....	23
3.2. 7.Teor de água médio ponderado da massa de sementes.....	23
3.2. 8.Variação do teor de água na massa de sementes.....	23
3.2. 9.Velocidade média de secagem	23

3.2.10.Velocidade média ponderada de secagem da massa de sementes	23
3.2.11.Curvas de secagem	24
3.3. Avaliação da qualidade das sementes	24
3.3.1.Teor de água	24
3.3.2.Teste de germinação.....	24
3.3.3.Teste de condutividade elétrica	24
3.3.4.Teste de tetrazólio.....	25
3.3.5.Teste de envelhecimento acelerado	25
3.3.6.Teste de emergência de plântulas	26
3.3.7.Testes de comprimento de raiz e de plântula	26
3.4. Procedimentos estatísticos.....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1. Monitoramento físico da secagem.....	29
4.2. Avaliação da qualidade das sementes	50
4.3. Considerações gerais.....	60
5. CONCLUSÃO.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

SECAGEM DE SEMENTES DE SOJA EM SILO COM DISTRIBUIÇÃO RADIAL DO FLUXO DE AR

Autor: Luiz Carlos Miranda

Orientador: Prof. Dr. Walter Rodrigues da Silva

RESUMO

A secagem de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) foi estudada, quanto às conseqüências das variações no fluxo e na temperatura do ar insuflado considerando o período de secagem e a posição das sementes na massa, utilizando um secador estacionário de distribuição radial do fluxo de ar. Na pesquisa, foram caracterizados o ar ambiente, o ar insuflado, as temperaturas e os teores de água da massa, as equações de secagem e a qualidade fisiológica (germinação e vigor) das sementes durante o armazenamento.

Admitindo os intervalos de 26,9 a 33,2 m³/min/t, para o fluxo, e de 42 a 50°C, para a temperatura do ar insuflado radialmente durante a secagem das sementes de soja em silos, conclui-se que a elevação na temperatura demanda redução no fluxo e, inversamente, o aumento no fluxo demanda redução na temperatura.

DRYING OF SOYBEAN SEEDS IN A RADIAL-AIR-FLOW DRYER

Author: Luiz Carlos Miranda

Adviser: Prof. Dr. Walter Rodrigues da Silva

ABSTRACT

The drying process of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seeds was studied, with the objective of verifying the consequences of different air flows and different temperatures of the drying air on the quality of the seeds. Seed quality was evaluated on distinct drying times and at different positions in the radial-air-flow dryer. The following parameters were described in the research: ambient and drying air characteristics; temperature and moisture content of the drying seeds; drying equations; and physiological seed quality during storage.

Within the range of 26,9 to 33,2 m³/min/t, for the air flow rate, injected radially, at the temperatures of 42 to 50°C, during the drying process of soybean seeds in radial-air-flow dryer, it can be concluded that a temperature elevation requires reduction in the air flow rate. On the other hand, an increase in the air flow rate requires a reduction in the temperature.

1. INTRODUÇÃO

Todos os sistemas de produção de sementes devem procurar assegurar, ao máximo, a obtenção das características físicas e fisiológicas desejadas nos lotes. Isto faz com que se estabeleça um paradoxo entre o exeqüível e o desejável. A semente, de maneira geral, quando atinge a maturidade fisiológica, apresenta qualidade representada pelos máximos poder germinativo, vigor e peso de matéria seca; nesse ponto, apresenta teores de água, geralmente acima de 30%, não compatíveis com a tecnologia disponível para a colheita mecânica e, a partir daí, permanece armazenada no campo submetida a fatores adversos potencialmente desfavoráveis à preservação da sua qualidade.

É necessária, portanto, a compatibilização entre o teor de água das sementes e o método de colheita empregado para reduzir, ao mínimo, o retardamento dessa operação em relação ao ponto de maturidade fisiológica das sementes. Como decorrência tornam-se indispensáveis os conhecimentos sobre a secagem artificial do material colhido, para que o teor de água obtido permita o armazenamento adequado durante a entressafra.

A secagem em equipamentos é prática antiga, havendo registros, nos Estados Unidos, que datam de 1870 (Foster, 1973); nessa época, o uso de secadores artificiais restringia-se ao das grandes companhias. O desenvolvimento dos equipamentos para secagem surgiu com a necessidade de serem processadas, rapidamente, as colheitas e com a ampliação das quantidades de grãos a serem armazenadas. Carvalho (1994) destacou, como eventos importantes, os aperfeiçoamentos provenientes da engenharia mecânica e do melhoramento genético. O aumento da produtividade agrícola foi decisivo para determinar a necessidade de avanços tecnológicos; o surgimento dos primeiros híbridos de milho, em 1926, foi um marco estimulador para o desenvolvimento de procedimentos mais eficientes em colheita, secagem e armazenamento de sementes.

Os registros sobre a evolução da secagem são escassos. Entretanto, merecem destaque os avanços conseguidos com trabalhos, em sua maioria, executados nas adaptações de metodologias para secagem de sementes em equipamentos fabricados, originalmente, para secagem de grãos.

Apesar das vantagens que apresenta, a secagem é uma operação potencialmente danosa à qualidade das sementes; a magnitude do dano depende dos corretos manejos dos teores de água inicial e final do produto, da temperatura, da umidade relativa, do fluxo de ar, da taxa de secagem e do período de exposição ao ar aquecido. A secagem de sementes

de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é, particularmente, dificultada por suas características morfológicas e composição química.

Os secadores estacionários, com cilindro central perfurado e distribuição radial de ar, têm-se apresentado como uma das opções para essa operação. Dessa maneira, a presente pesquisa objetivou buscar conhecimentos, relacionados ao emprego desse tipo de secador, para a remoção de água das sementes. Para tanto, foram estudadas a evolução do processo de secagem e as conseqüências de variações da temperatura e do fluxo do ar insuflado sobre a qualidade de sementes de soja.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A semente e a atmosfera que a rodeia são sistemas que se mantêm em permanente troca de vapor de água, determinada pela diferença de potencial hídrico existente entre ambos. A predominância de fluxo se dará do sistema de maior para o de menor potencial hídrico, até que seja atingido o ponto de equilíbrio higroscópico entre ambos (Silva, 1986). O processo de secagem é consequência de haver, na atmosfera, um potencial hídrico inferior ao presente na semente, que fará com que a passagem de água ocorra, predominantemente, no sentido semente-atmosfera, na busca de um equilíbrio higroscópico representado por teor de água inferior ao existente originalmente.

A secagem, entendida por Brooker et al. (1974) como um processo simultâneo de transferência de calor do ar para a semente e de massa (água) das sementes para o ar, demanda energia térmica para a evaporação da água e, dessa maneira, promove resfriamento no ar de secagem pela perda de calor sensível. Entretanto, o balanço energético é nulo em razão do ar recuperar, na forma de vapor de água (calor latente), o que perdeu na forma de calor sensível (Brooker et al., 1974; Lasseran, 1978),

caracterizando um processo isoentálpico. Assim, verificam-se reduções da temperatura do ar e do volume específico e aumentos da razão de mistura, da umidade relativa, da pressão de vapor e da temperatura do ponto de orvalho. A entalpia e a temperatura do bulbo úmido permanecem, praticamente, constantes.

Os métodos de secagem são denominados quanto à utilização de equipamentos (secagem natural ou artificial), quanto à exposição ao calor (secagem contínua ou intermitente), e quanto à movimentação das sementes (secagem estacionária ou contínua) (Kreyger, 1973; Brooker et al., 1974; Lasseran, 1979; Cabello, 1982; Silva et al., 1983; Carvalho, 1994).

A secagem natural das sementes prevalece em situações com condições climáticas favoráveis para tal, em virtude de requerer instalações simples e baratas, mesmo apresentando desvantagens decorrentes do uso intensivo de mão de obra, pois as operações, fundamentalmente manuais, geram baixo rendimento; paralelamente, o processo é totalmente dependente de condições climáticas secas (Toledo & Marcos Filho, 1977). Mesmo apresentando desvantagens, a importância da secagem natural é reconhecida para a produção de sementes de determinadas espécies vegetais, como as de algumas gramíneas forrageiras, uma vez que a secagem ao sol ou à sombra auxilia, inclusive, na padronização da maturação pós-colheita, em procedimento comumente chamado de cura (tempo entre sega e debulha) (Macêdo et al., 1987; Magalhães & Groth, 1992).

Rosa (1966; 1968) destacou a necessidade do desenvolvimento de conhecimentos sobre a secagem artificial, especialmente na Região Sul do Brasil, visando o aprimoramento da tecnologia de produção de sementes. Particularmente quando a indústria de equipamentos foi incentivada, trabalhos relacionados com secagem, embora inicialmente em número reduzido, passaram a ser conduzidos por alguns pesquisadores (Andrigueto et al., 1976; Gonzales et al., 1979; Miranda, 1978; Alvarenga, 1979; Cerqueira, 1979). Na década de 80, as pesquisas envolveram diversos tipos de equipamentos considerando, principalmente, a temperatura do ar e o sistema de secagem (Corrêa, 1981; Cavariani, 1983; Bounous, 1986; Luz, 1986; Vega, 1989). Ultimamente, outros parâmetros, como a umidade relativa e o fluxo de ar, passaram a receber atenção em experimentos, todavia em escala não comercial (Rangel, 1994; Claser, 1995).

Nos métodos de secagem artificial, a fonte térmica pode ser variável. O que caracteriza o método como artificial é o fato de que, praticamente, todo o processo é executado com o auxílio de aparelhos mecânicos, elétricos ou eletrônicos e o ar é forçado através da massa de sementes. A obtenção de calor, a insuflação de ar e a movimentação das sementes, são operações feitas com o auxílio de equipamentos específicos. Este é o tipo de secagem que mais freqüentemente se adapta aos esquemas de produção de sementes, tendo em vista a rapidez com que remove quantidades elevadas de água, sendo a opção mais freqüentemente adotada, inclusive, na produção de grãos.

Sempre que a secagem for utilizada, deve-se levar em conta que as sementes sofrem mudanças físicas, causadas por variações de temperatura e grau de umidade, capazes de provocar estresses hídricos e térmicos, representados por expansões e contrações promotoras de alterações nas suas densidade e porosidade (Fortes & Okos, 1980).

O método estacionário consiste, basicamente, em forçar a passagem do ar através da massa de sementes que permanece em repouso. Existem modelos de secadores estacionários em que as sementes, após a operação, permanecem dentro da própria câmara de secagem, que funciona como armazém. São importantes as precauções para evitar a supersecagem da camada de sementes mais próxima à entrada de ar aquecido e, ao mesmo tempo, permitir a retirada de água na camada mais distante, para que não seja acelerada a deterioração das sementes. São recomendados, para a secagem de sementes com teor de água entre 16% a 18 %, fluxos de ar entre 8 e 10 m³/min/t e espessura da massa inferior a 1,5 m; para o caso de sementes de tamanho similar ao da soja, são recomendadas umidade relativa do ar não inferior a 40% e temperatura máxima de 43°C para o ar insuflado (Welch, 1967; Villa & Roa, 1979; Peske & Baudet, 1980; Cabello, 1982; Peske & Aguirre, 1987).

A secagem, nos silos estacionários de fundo falso perfurado, se processa da base para a superfície da massa de sementes e, nos de tubo central perfurado, do centro para a periferia; ocorre em camadas, em função da formação de zonas de secagem correspondentes às regiões de intercâmbio de água entre a

semente e o ar. Do tubo central até a frente de secagem, ocorrem sementes secas e alta temperatura; além dessa frente, há sementes úmidas e baixa temperatura (Welch, 1967; Peske & Baudet, 1980; Cavariani & Baudet, 1982). Mclean (1980) ponderou que, em secadores com distribuição radial do ar, a reduzida espessura da massa de sementes, em associação com características aerodinâmicas favoráveis, faz com que a pressão estática seja baixa, o que possibilita a utilização de fluxos de ar próximos a $30 \text{ m}^3/\text{min}/\text{t}$.

O fluxo de ar deve ser suficiente para não ficar saturado antes de deixar a massa de sementes (Boyd et al., s.d.; Brandenburg et al., 1961), podendo ser aumentado enquanto seja capaz de absorver toda a água liberada pelas sementes. A partir deste ponto, a migração hídrica, do interior para a superfície de cada semente, torna-se o principal fator a influenciar a velocidade de secagem. Conforme Boyd (1974), nos silos secadores com distribuição axial do ar, há a necessidade de ajuste entre o fluxo do ar e a espessura da massa para minimizar o tempo de secagem e os efeitos negativos na qualidade das sementes. Em trabalho sobre secagem de sementes de soja com 22% de água, massa com 1,20 m de espessura e umidade relativa do ar entre 42% e 55%, Boyd et al. (s.d.) concluíram serem exigidos fluxos de 6,6 à $13,2 \text{ m}^3/\text{min}/\text{t}$ e umidades relativas do ar insuflado entre 40 e 50%.

Outro fator que influencia a secagem estacionária é a pressão estática (resistência imposta ao deslocamento do ar forçado para atravessar a

massa de sementes) devida às perdas de energia por fricção e turbulência; depende da arquitetura dos ductos, do fluxo do ar, das características físicas da cobertura protetora das sementes, do volume e da arquitetura dos espaços porosos, da uniformidade dos componentes e da espessura da massa (Brandenburg et al., 1961; Brooker et al., 1974). O efeito do teor de água das sementes, na pressão estática, não é perfeitamente explicado (Brooker et al., 1974). Shedd (1953) constatou, sob fluxo constante de ar, redução na pressão estática em milho à medida em que o teor de água aumentava, inversamente ao observado por Patterson, citado por Brooker et al. (1974).

O modo como se processa a secagem estacionária origina gradientes de temperatura e de umidade na massa (Welch, 1967; Brooker et al., 1974; Mclean, 1980; Corrêa, 1981; Cavariani & Baudet, 1982; Pasin, 1991). Em secador estacionário com distribuição radial de ar, sob temperatura de 42°C, Corrêa (1981) não observou diferenças entre as temperaturas das sementes de arroz mais próximas ao tubo central e as das mais afastadas. Contrariamente, Pasin (1991), em soja, constatou gradientes de até 15°C em secadores similares. O gradiente do teor de água, entre sementes diferentemente distanciadas em relação à zona de entrada do ar, depende da umidade relativa, da temperatura, do fluxo do ar, do teor de água, da espessura da massa e da capacidade de transferência de água das sementes para o ar. Esse gradiente é reduzido com diminuições na temperatura e na espessura da massa de sementes e elevação do fluxo de ar. Nas camadas

mais distantes da entrada do ar, pode ocorrer aumento do teor de água das sementes em consequência da condensação provocada pela passagem do ar úmido por camadas com temperatura mais baixa (Brooker et al., 1974).

Boyd (1974), estudando a secagem de soja em silo estacionário de fundo falso perfurado, verificou a necessidade de compatibilizar o fluxo de ar e a altura da camada de sementes, como forma de minimizar o tempo de secagem e reduzir os efeitos negativos sobre a qualidade das sementes. Relatou que temperatura de 54,4°C e umidade relativa inferior a 40% no ar de secagem, provocam redução na germinação; a baixa umidade relativa do ar de secagem não afetou diretamente a germinação, mas associou-se ao surgimento de rachaduras no tegumento das sementes. Verificou, também, que sementes colhidas com teores de água de 18,5 % e 22,3%, quando secadas até 12% utilizando fluxos de ar iguais ou superiores a 10 m³/min/t e temperatura da massa de até 38°C, não apresentaram reduções acentuadas de qualidade. Da mesma forma, Corrêa (1981), trabalhando com equipamento de distribuição radial de ar em sementes de arroz, não observou prejuízos na qualidade fisiológica das sementes quando empregou ar insuflado a 42°C, em massa com 1,35 m de espessura, durante 15 horas. A remoção de 0,3% de água por hora, sob fluxo de 5,5 m³/min/t a 43°C, foi sugerida por Brandenburg et al. (1961) como regra geral a ser utilizada em secagem de sementes.

O inconveniente da utilização de baixa umidade relativa, na secagem estacionária, é a possibilidade de redução excessiva no teor de água

das sementes mais próximas à entrada do ar aquecido. Pasin (1991) observou o deslocamento da frente de secagem em sementes de soja, com teor de água inicial de 16,3%, utilizando secador estacionário de tubo central perfurado e massa de sementes com 1,35 m de espessura. A temperatura do ar insuflado foi de 42°C, o fluxo foi de 8 m³/min/t e as amostragens, para as determinações de temperatura e teor de água das sementes, foram feitas em três pontos eqüidistantes, em distribuição radial. Durante o período de secagem, nos diversos momentos de amostragem, foram verificadas as temperaturas máxima, junto ao tubo central perfurado (41°C), e mínima, junto à parede externa do secador (26°C), apresentando gradiente de 15°C. O teor de água das sementes, durante o deslocamento da frente de secagem que durou 8 h, apresentou variação de 3,7%, estando as sementes mais secas (9,5%) próximas ao tubo central perfurado e as mais úmidas (13,2%) próximas à parede externa do secador. Segundo o autor, esse gradiente não afeta a qualidade das sementes, tendendo a desaparecer pela ação do sistema de descarga em camadas, desenvolvido para esse tipo de secador, que garante a homogeneização da massa de sementes.

A susceptibilidade das sementes à ocorrência do dano físico é determinada pelo teor de água e pela temperatura das sementes, pelo genótipo, pela temperatura do ar, pelo método e velocidade de secagem, pela velocidade de resfriamento, pelo tamanho e pela forma das sementes (Gustafson et al., 1978; Gustafson & Morey, 1979; Gunasekaran & Paulsen, 1985). O processo de secagem pode gerar rachaduras, que tornam a semente

susceptível à quebra total em operações subseqüentes (Gustafson et al., 1978; Gustafson & Morey, 1979). Nas sementes, as principais conseqüências do fato são a redução da capacidade de regular trocas hídricas e gasosas e o aumento da susceptibilidade à ação negativa de microrganismos, insetos e produtos de tratamento químico (Moore, 1974; Soave & Moraes, 1987; Wetzel, 1987; Carvalho & Nakagawa, 1988). Esses danos são, segundo Brooker et al. (1974), particularmente importantes nas secagens de sementes de arroz, milho e soja, podendo ser reduzidos pela utilização de baixas temperaturas e pela associação entre altas temperaturas e altas umidades relativas, como formas de proporcionar equilíbrio entre as secagens periférica e interna de cada semente.

Brooker et al. (1974) ressaltaram que temperaturas da massa de sementes, situadas entre 40,5°C e 43,3°C, são consideradas como máximas e, acima das quais, podem ser gerados danos físicos ou químicos. No entanto, a diferença entre a temperatura do ar insuflado e a da massa de sementes depende do tipo de secador, da espécie botânica considerada e da resistência ao movimento do ar, tornando-se necessário conhecer o comportamento do calor em cada tipo de secador e em cada espécie. Segundo Harrington (1972), sementes mais úmidas são mais susceptíveis aos danos térmicos, razão pela qual sugeriu que, quanto maior o teor de água, menor deve ser a temperatura empregada. Porém, Brandenburg et al. (1961) ponderaram que a água superficial pode ser retirada sob alta temperatura do ar, uma vez que o

processo de evaporação remove calor suficientemente, não alterando a temperatura das sementes. Abaixo de 30% de água, no entanto, a quantidade de água, para evaporação, fica menos disponível e a temperatura da massa tende a aumentar.

A sensibilidade fisiológica ao dano térmico é, segundo diferentes autores, função da espécie, do genótipo, do teor de água, da temperatura, do tempo de exposição e da velocidade de secagem (Meier, 1983; Navratil & Burris, 1984; Herter & Burris, 1989b). A causa primária do dano fisiológico produzido por altas temperaturas em tecidos vegetais é, conforme Daniell et al. (1969), a desestruturação das membranas celulares, possivelmente, por alterações nos lipídios que as constituem. Paralelamente, é aceita a teoria de que o calor excessivo provoca, entre outras alterações, a desnaturação de proteínas. Segundo Herter & Burris (1989a), danos térmicos às sementes de milho são caracterizados quando promovem a ruptura em ligações peptídicas de proteínas e de outros componentes celulares, tendo sido constatado que o início do efeito deletério, durante secagem à alta temperatura, coincidiu com o início da secagem do embrião; contudo, não foi possível concluir se a perda de água do embrião é a causa fundamental da injúria. Esses danos podem, ainda, atingir sistemas subcelulares, incluindo cromossomos (Roberts, 1972; 1981) e mitocôndrios (França Neto, 1984; Madden, 1992); acham-se associados à redução do número de grãos de amido no eixo embrionário, aos aumentos de lixiviação de eletrólitos e açúcares e de

produção de pigmentos carotenóides (Seyedin et al., 1984), às alterações na permeabilidade de membranas celulares (Seyedin et al., 1984 e Herter & Burris, 1989c) e na taxa respiratória (Madden, 1992).

Koster & Leopold (1988), secando sementes de soja até 8% H₂O b.s., teor considerado prejudicial aos tecidos sensíveis à desidratação, verificaram que a tolerância à perda de água foi negativamente afetada quando houve lixiviação de oligossacarídeos tidos como preventivos da cristalização da sacarose; esta, em sua forma não cristalizada, participa da estabilização estrutural das membranas celulares mantendo sua hidratação. Paralelamente, houve aumento no teor de monossacarídeos redutores nos eixos embrionários que, potencialmente, causam danos às proteínas e aos ácidos nucléicos, afetando a viabilidade das sementes. Chen & Burris (1990) concluíram que, além da sacarose, a rafinose atua na estabilização das membranas, contribuindo para a tolerância à secagem. Essas constatações concordam com as de Koster & Leopold (1988), que verificaram, após o armazenamento, que as sementes de milho com 96% de germinação continham sacarose e rafinose, as com 12% continham apenas sacarose e, as que não germinaram, continham glucose e frutose em lugar de sacarose e rafinose.

O aumento quantitativo de fosfolipídios, durante a pré-secagem sob baixa temperatura, levou Chen & Burris (1991) a relevarem a importância desses compostos, particularmente fosfatidilcolina, na tolerância à

secagem posterior sob alta temperatura, por agirem na estabilização estrutural das membranas celulares.

Desse modo, a secagem de sementes demanda conhecimentos que permitam compatibilizar o rendimento operacional com a manutenção da qualidade fisiológica. Assim, é necessária a continuidade de busca de informações capazes de permitir o melhor entendimento das relações experimentais entre ambos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A condução experimental foi realizada na Unidade de Beneficiamento de Sementes da Gerência Local de Ponta Grossa, PR, do Serviço de Produção de Sementes Básicas (Embrapa-Sementes Básicas) e no Laboratório de Análise de Sementes do Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Embrapa-Soja), em Londrina, PR.

Foram utilizadas sementes de soja, do cultivar EMBRAPA 4 (BR 4 RC), produzidas pela Embrapa-Sementes Básicas/Gerência Local de Ponta Grossa, na safra 1994/95.

As sementes foram colhidas, em dias consecutivos, de modo que o material pudesse ser processado (pré-limpeza com aproveitamento da fração retida entre as peneiras com crivos circulares de 8 mm e oblongos de 4,5 x 19 mm) e encaminhado para secagem em prazo inferior a 12 horas.

As secagens foram realizadas em silo estacionário com cilindro central perfurado e distribuição radial de ar, da marca Rota (mod. RC.10), com capacidade nominal para 7,5 t. O fornecimento de calor foi feito através de uma fornalha da marca Casp, de fogo direto (70.000 kcal/h), acoplada a

ventilador centrífugo (10 cv) dotado de polias intercambiáveis para possibilitar alterações de rotação e, conseqüentemente, de fluxo de ar.

3.1. Tratamentos e amostragem

Foram estudados fluxos e temperaturas do ar de secagem, distâncias da massa em relação ao cilindro central de insuflação do ar e períodos de secagem.

Cada combinação entre a temperatura e fluxo do ar insuflado constituiu uma secagem isolada com duração ininterrupta de 12 horas, entre as 8:00 e 20:00 h (Tabela 1). A temperatura (°C) foi avaliada com o emprego de termômetro analógico instalado no duto de entrada do ar. O fluxo (m³/min/t) foi calculado a partir do registro da velocidade do ar com anemômetro axial marca Lutron (mod. AM 4201), posicionado no centro do duto de entrada do ar, de acordo com a seguinte equação:

$$F = 15 \times \pi D^2 \times V \times M^{-1} \quad \text{onde:}$$

F = fluxo do ar (m³/min/t)

D = diâmetro do duto de ar (m)

V = velocidade do ar (m/s)

M = massa das sementes (t)

Tabela 1. Fluxos ($\text{m}^3/\text{min}/\text{t}$) e temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) de secagem. Ponta Grossa, PR, 1995.

TEMPERATURAS $^{\circ}\text{C}$	FLUXOS $\text{m}^3/\text{min}/\text{t}$
42	26,9
	28,4
	33,2
46	26,9
	28,4
	33,2
50	26,9
	28,4
	33,2

A coleta das sementes realizada durante a secagem, com o emprego de amostrador duplo septado desenvolvido para o experimento (Figura 1), considerou três distâncias ($D_1 = 17 \text{ cm}$; $D_2 = 34 \text{ cm}$; $D_3 = 51 \text{ cm}$) radiais em relação ao cilindro central de insuflação de ar. Cada distância foi representada pela reunião de subamostras coletadas em três alturas (H_1 , H_2 , H_3) eqüidistantes $1,70 \text{ m}$ entre si; a altura H_1 situou-se a $0,70 \text{ m}$ da base do secador (Figura 2.1). As repetições foram definidas através da subdivisão axial do secador em três partes (Figura 2.2).

Figura 1. Esquema do corte longitudinal do amostrador duplo septado, indicando as distâncias D_1 , D_2 e D_3 .

Figura 2.1.

Figura 2.2.

Figura. 2.1. e 2.2. Esquemas dos cortes longitudinal (2.1.) e transversal (2.2.) do secador estacionário, marca ROTA mod. RC 10, indicando as distâncias de amostragem (D_1 , D_2 , D_3) nas alturas H_1 , H_2 , H_3 .

Durante a secagem as coletas de sementes foram realizadas em intervalos de duas horas, para o monitoramento físico da secagem, e de quatro horas para a avaliação da qualidade das sementes durante o armazenamento. Para este, os materiais amostrados foram previamente acondicionados em embalagens de algodão e submetidos, imediatamente quando necessário, à secagem natural, (alternadamente ao sol e à sombra) com acompanhamento periódico da redução do grau de umidade, até que fossem atingidos valores próximos a 13% H₂O nas sementes.

Após a obtenção do material correspondente às combinações fluxo/temperatura, distâncias e períodos de secagem cada amostra foi homogeneizada e subdividida em três frações que tiveram a seguinte destinação:

- a) uma fração foi destinada ao monitoramento físico da secagem.
- b) duas frações foram mantidas em câmara fria e seca (5°C e 40% U.R.), para uniformização do teor de água, por um período de 60 dias; em seguida foram transferidas para condições não controladas de ambiente, em armazém convencional. Esta ocasião correspondeu ao início do armazenamento que foi estudado, quanto às variações no teor de água e na qualidade fisiológica das sementes, aos 0 e 6 meses.

3.2. Monitoramento físico da secagem

Foram obtidos os seguintes dados para cada intervalo de 2 h de secagem:

- 3.2.1. Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa (%) do ar ambiente determinadas a partir de dados obtidos em termohigrógrafo instalado externamente ao secador;
- 3.2.2. Pressão de vapor (kPa) e umidade relativa (%) do ar insuflado calculadas a partir dos dados de temperatura e umidade relativa do ar ambiente, de temperatura do ar insuflado e de temperatura do ponto de orvalho, através de programa para determinar propriedades psicrométricas (Biagi & Silva, 1990) considerando a pressão barométrica local de 668 mm de mercúrio;
- 3.2.3. Pressão estática (mm ca) do ar insuflado determinada através de tubo de "Pitot", conectado em um ponto frontal em posição oposta à da entrada do ar aquecido na câmara de plenum da base do secador;
- 3.2.4. Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) da massa de sementes obtida com aparelho digital da marca Entag, equipado com pares termoeletrônicos, com leituras em todos os pontos de amostragem das sementes; a temperatura, referente a cada uma das três distâncias consideradas em relação ao tubo central de insuflação de ar, foi representada pela média das temperaturas obtidas nas três alturas (H_1 , H_2 , H_3) correspondentes;

- 3.2.5. Variação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) na massa de sementes representada pela diferença entre as temperaturas encontradas nas distâncias D_1 e D_3 ;
- 3.2.6. Teor (%) de água das sementes realizado a partir das amostras representantes das distâncias D_1 , D_2 e D_3 , foi determinado em estufa elétrica de desidratação sem ventilação forçada, utilizando o método de estufa à $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, durante 24 horas, conforme a metodologia descrita nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992);
- 3.2.7. Teor (%) de água médio ponderado da massa de sementes calculado a partir dos dados obtidos nas distâncias D_1 , D_2 e D_3 e considerando a representatividade relativa, de cada distância ($D_1 = 30\%$; $D_2 = 30\%$; $D_3 = 40\%$), no volume ocupado pela massa de sementes;
- 3.2.8. Variação do teor (%) de água na massa de sementes calculada pela diferença entre os teores de água obtidos nas amostras de sementes relativas às distâncias D_1 e D_3 ;
- 3.2.9. Velocidade média de secagem (% $\text{H}_2\text{O}/\text{h}$) estimando a remoção de água das sementes, nas três distâncias (D_1 , D_2 e D_3), por unidade de tempo; foi calculada através do quociente da diferença entre os teores inicial e final de água das sementes, pelo tempo total (12 h) de secagem;
- 3.2.10. Velocidade média ponderada de secagem (% $\text{H}_2\text{O}/\text{h}$) da massa de sementes utilizando a velocidade média de secagem encontrada em

D_1 , D_2 e D_3 ; foi calculada levando em conta a participação relativa, de cada distância ($D_1 = 30\%$; $D_2 = 30\%$; $D_3 = 40\%$), no volume ocupado pela massa de sementes;

3.2.11. Curvas de secagem determinadas através do ajuste de regressão polinomial, relacionando o teor de água das sementes e o tempo de secagem, nas três distâncias (D_1 , D_2 e D_3).

3.3. Avaliação da qualidade das sementes

Utilizando as amostras de sementes coletadas a cada 4,0 horas de secagem nas distâncias D_1 , D_2 e D_3 , foram conduzidas as seguintes determinações, com três repetições, no início (efeitos imediatos) e ao final (efeitos latentes) do período de armazenamento:

3.3.1. Teor (%) de água realizado com a metodologia descrita em 3.2.6;

3.3.2. Teste de germinação (%) conduzido, a 25°C, em 4 subamostras de 50 sementes por repetição conforme os procedimentos descritos nas Regras para Análises de Sementes (Brasil, 1992);

3.3.3. Teste de condutividade elétrica (μA /semente) realizado em duas subamostras de 100 sementes, por repetição, colocadas para embeber em recipientes plásticos contendo uma célula para cada semente submersa em água destilada (24 horas a 20°C); após esse período, seguiu-se a leitura em condutivímetro modelo ASA 610, sendo o resultado expresso em porcentagem de sementes viáveis,

tendo como referência o ponto de partição 90 μ A/semente; foram seguidos os demais procedimentos gerais recomendados no manual do equipamento (Agro Sciences, 1979) e a metodologia descrita por Dias (1994);

3.3.4. Teste de tetrazólio (%) empregando duas subamostras de 50 sementes por repetição, pré-condicionadas em papel toalha umedecido com água, por um período de 16 horas à temperatura de 25°C. Após o pré-condicionamento, as sementes foram colocadas em copos becker e submersas em solução (0,075% de sal de tetrazólio), por 150 a 180 minutos à temperatura de 35°C - 40°C, em estufa. Após esse período, as sementes foram lavadas e mantidas submersas em água até o momento da avaliação, que permitiu as leituras de viabilidade (TZG%) e de vigor (TZV%), segundo os critérios descritos por França Neto et al. (1988);

3.3.5. Teste de envelhecimento acelerado (%) executado conforme metodologia descrita por Marcos Filho (1994); consistiu na utilização de caixas gerbox como compartimento individual (mini-câmaras), possuindo, no seu interior, uma bandeja de tela de aço inox sobre a qual foram distribuídas as sementes; essas mini-câmaras foram mantidas a 42°C, após a adição de 40 ml de água em seu interior, durante 48 horas. Após esse período, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, como o descrito no item 3.3.2., utilizando-se

quatro subamostras de 50 sementes por repetição e interpretação após quatro dias de permanência no germinador;

3.3.6. Teste de emergência de plântulas (%) realizado em casa-de-vegetação sob 20°C e disponibilidade hídrica mantida na capacidade de campo. Foram utilizadas 50 sementes por repetição que, por sua vez, foram instaladas em bandejas contendo, como substrato, uma mistura não esterilizada de 70% de solo latossolo roxo distrófico e 30% de areia. A contagem, efetuada aos 14 dias após a semeadura, considerou as plântulas emersas em qualquer estágio de desenvolvimento;

3.3.7. Testes de comprimento de raiz e de plântula (cm) realizados, conjuntamente, utilizando quatro subamostras de 10 sementes, por repetição, colocadas manualmente, no terço superior do papel toalha, com o hilo voltado para a parte inferior; dessa maneira, foram facilitados os desenvolvimentos retilíneos da raiz e do hipocótilo. Os rolos de papel, umedecidos com 2,25 vezes o seu peso em água, foram mantidos inclinados (45°) no germinador, em ausência de luz a 25°C, durante cinco dias. No final desse período, considerando exclusivamente as plântulas normais (Brasil, 1992), foram medidos os comprimentos da raiz (extremidade da raiz à região de transição entre o hipocótilo e a raiz) e da plântula (extremidade da raiz ao ponto de inserção dos cotilédones).

3.4. Procedimentos estatísticos

As curvas de secagem, para cada distância (D_1 , D_2 e D_3), foram determinadas através de ajustes de regressões polinomiais, relacionando o comportamento do teor de água das sementes e o tempo decorrido durante o processo de secagem.

A análise dos dados de avaliação da qualidade das sementes, com exceção dos relativos ao teor de água que não foram estatisticamente analisados, considerou, separadamente, os efeitos de fluxo (F) x temperatura (T) e de distância (D) x tempo de secagem (TS).

Os efeitos de distância x tempo de secagem foram analisados, preliminarmente, em cada combinação F x T. Constatadas diferenças aceitáveis entre valores extremos dos quadrados médios residuais, optou-se por análise conjunta reunindo dados de todas as combinações de fluxo x temperatura. De modo similar, os efeitos de fluxo x temperatura, após o estudo dos valores extremos dos quadrados médios residuais obtidos em análise prévia para cada combinação D x TS, passaram por análise conjunta reunindo as combinações de distância x tempo de secagem.

Quando a interação entre os fatores revelou-se significativa, foram realizados os desdobramentos dos graus de liberdade dos quadrados médios e aplicado o teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, para a comparação entre médias. Para realização das análises foi empregado o

programa Statistics Analysis System (SAS, 1985), segundo delineamento inteiramente casualizado (Tabela 2).

Tabela 2. Esquema da análise da variância dos dados de qualidade fisiológica para o estudo das combinações distâncias x tempos de secagem e fluxos x temperaturas. Ponta Grossa, PR, 1995.

Causas da variação	Graus de liberdade
Distâncias x Tempos de secagem	
Distâncias	2
Tempo de secagem	3
Distâncias x Tempos de secagem	6
Resíduo	312
Fluxos x Temperaturas	
Fluxos	2
Temperaturas	2
Fluxos x Temperaturas	4
Resíduo	315
TOTAL	323

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Monitoramento físico da secagem

Os dados do ar ambiente, do ar insuflado e da temperatura da massa de sementes são apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5.

As temperaturas do ar insuflado revelaram-se próximas às desejadas, provavelmente, pela reduzida oscilação da temperatura do ar ambiente durante os tratamentos de secagem. Paralelamente, os dados de pressão de vapor do ar insuflado permitiram verificar que as condições operacionais, durante as secagens, foram relativamente uniformes e sofreram reduzidas interferências climáticas externas ao secador; as diferenças observadas, dentro e entre secagens, foram ocasionais e não indicaram efeitos dos tratamentos nos dados coletados.

A diferença ($1,5 \text{ m}^3/\text{min/t}$), observada entre os valores dos fluxos inferior e intermediário, pode não haver sido suficiente para promover alterações nas leituras de pressão estática no tubo de Pitot empregado; com isso, os valores encontrados foram idênticos nos dois casos. Contudo, quando empregado o maior fluxo, a pressão estática foi elevada, confirmando as

Tabela 3. Dados do ar ambiente, do ar insuflado e da massa de sementes de soja obtidos durante secagens estacionárias conduzidas sob 42°C com variações no fluxo do ar insuflado. Ponta Grossa, PR, 1995.

TRATAMENTOS			AR AMBIENTE		AR INSUFLADO			MASSA DE SEMENTES(T°C)			
T	F	TS	T	UR	T	UR	PV	PE	DISTÂNCIAS		
°C	m³/min/t	h	°C	%	°C	%	KPa	mm ca	D1	D2	D3
42	26,9	0,0	23,0	78,0	21,7	84,4	2,2	30,0	22,3	22,5	22,0
		2,0	23,0	71,0	43,0	23,1	2,0	30,0	31,5	27,1	26,5
		4,0	24,0	68,0	42,0	24,8	2,0	30,0	36,6	27,3	26,7
		6,0	26,0	62,0	41,7	25,8	2,1	30,0	39,9	29,4	26,5
		8,0	26,0	68,0	42,7	26,9	2,3	30,0	39,8	32,8	25,6
		10,0	25,0	62,0	41,8	24,2	2,0	30,0	39,6	35,3	26,7
		12,0	25,0	70,0	41,2	28,2	2,2	30,0	38,4	34,8	26,6
42	28,4	0,0	21,0	69,0	22,7	62,2	1,7	30,0	23,1	23,2	21,8
		2,0	21,0	61,0	42,2	18,3	1,5	30,0	35,1	25,7	25,2
		4,0	23,0	60,0	42,0	20,6	1,7	30,0	38,1	30,0	25,2
		6,0	24,0	60,0	42,4	21,4	1,8	30,0	38,8	34,1	26,3
		8,0	25,0	60,0	42,1	23,1	1,9	30,0	39,6	35,8	28,3
		10,0	25,0	62,0	40,4	26,1	2,0	30,0	40,0	36,8	30,4
		12,0	25,0	71,0	41,4	28,3	2,2	30,0	40,8	37,3	32,1
42	33,2	0,0	21,0	73,0	21,1	72,5	1,8	40,0	21,6	21,7	20,2
		2,0	21,0	72,0	41,0	23,1	1,8	40,0	37,5	28,2	26,5
		4,0	22,0	68,0	42,2	21,7	1,8	40,0	39,1	33,9	26,5
		6,0	24,0	64,0	40,6	23,5	1,9	40,0	39,8	36,5	29,7
		8,0	27,0	60,0	42,0	26,1	2,1	40,0	41,4	38,6	33,2
		10,0	28,0	62,0	40,6	30,8	2,3	40,0	40,2	39,0	34,7
		12,0	28,0	71,0	41,1	34,3	2,7	40,0	39,3	38,0	35,5

Legenda:

T - temperatura

F - fluxo de ar insuflado

TS - tempo de secagem

UR - umidade relativa

PV - pressão de vapor

PE - pressão estática

D₁, D₂, D₃ - distâncias radiais em relação ao cilindro central de insuflação de ar

Tabela 4. Dados do ar ambiente, do ar insuflado e da massa de sementes de soja obtidos durante secagens estacionárias conduzidas sob 46°C com variações no fluxo do ar insuflado. Ponta Grossa, PR, 1995.

TRATAMENTOS			AR AMBIENTE			AR INSUFLADO			MASSA DE SEMENTES(T°C)			
T	F	TS	T	UR	T	UR	PV	PE	DISTÂNCIAS			
°C	m³/min/t	h	°C	%	°C	%	KPa	mm ca	D1	D2	D3	
46	26,9	0,0	23,0	82,0	25,2	71,8	2,3	30,0	27,7	28,8	26,0	
		2,0	23,0	76,0	46,5	20,7	2,1	30,0	39,5	30,6	30,3	
		4,0	25,0	66,0	45,6	21,2	2,1	30,0	41,3	34,1	30,4	
		6,0	28,0	60,0	45,3	23,3	2,3	30,0	42,5	37,7	30,3	
		8,0	29,0	58,0	46,1	22,9	2,3	30,0	44,1	38,5	31,3	
		10,0	29,0	60,0	45,7	24,2	2,4	30,0	44,0	40,8	33,3	
46	28,4	12,0	28,0	76,0	47,1	27,0	2,9	30,0	45,7	41,9	35,9	
		0,0	19,0	72,0	21,3	62,5	1,6	30,0	22,2	22,4	19,8	
		2,0	19,0	70,0	44,7	16,3	1,5	30,0	35,9	25,9	25,5	
		4,0	21,0	54,0	45,3	13,8	1,3	30,0	40,0	20,8	24,6	
		6,0	23,0	46,0	46,3	12,6	1,3	30,0	42,1	32,6	24,3	
		8,0	25,0	46,0	45,3	15,0	1,5	30,0	42,5	36,3	26,7	
46	33,2	10,0	26,0	47,0	45,9	15,8	1,6	30,0	43,6	37,7	30,0	
		12,0	26,0	56,0	45,2	19,5	1,9	30,0	42,2	38,8	31,0	
		0,0	23,0	83,0	22,6	85,0	2,3	40,0	22,8	22,8	21,9	
		2,0	23,0	81,0	45,5	23,2	2,3	40,0	39,5	31,2	29,0	
		4,0	24,0	77,0	44,0	25,3	2,3	40,0	40,8	36,4	30,2	
		6,0	25,0	84,0	45,6	27,0	2,7	40,0	41,6	38,6	32,9	
		8,0	25,0	82,0	46,8	24,8	2,6	40,0	43,1	40,7	35,9	
		10,0	25,0	84,0	45,6	27,0	2,7	40,0	42,5	40,7	36,6	
		12,0	25,0	81,0	45,7	25,9	2,6	40,0	42,1	41,2	38,3	

Legenda:

T - temperatura

F - fluxo de ar insuflado

TS - tempo de secagem

UR - umidade relativa

PV - pressão de vapor

PE - pressão estática

D₁, D₂, D₃ - distâncias radiais em relação ao cilindro central de insuflação de ar

Tabela 5. Dados do ar ambiente, do ar insuflado e da massa de sementes de soja obtidos durante secagens estacionárias conduzidas sob 50°C com variações no fluxo do ar insuflado. Ponta Grossa, PR, 1995.

TRATAMENTOS			AR AMBIENTE			AR INSUFLADO			MASSA DE SEMENTES(T°C)			
T	F	TS	T	UR	T	UR	PV	PE	DISTÂNCIAS			
°C	m ³ /min/t	h	°C	%	°C	%	KPa	mm ca	D1	D2	D3	
50	26,9	0,0	23,0	85,0	24,9	75,8	2,4	30,0	25,6	25,7	24,5	
		2,0	23,0	80,0	49,1	19,1	2,2	30,0	41,7	31,7	31,7	
		4,0	25,0	78,0	50,5	19,6	2,5	30,0	46,3	35,8	31,9	
		6,0	25,0	72,0	52,7	16,2	2,3	30,0	49,1	40,9	32,5	
		8,0	27,0	56,0	49,9	16,3	2,0	30,0	47,9	42,7	32,9	
		10,0	29,0	50,0	49,7	16,5	2,0	30,0	49,0	44,2	34,8	
50	28,4	12,0	29,0	62,0	50,3	19,9	2,5	30,0	48,5	44,3	36,5	
		0,0	19,0	80,0	18,2	84,1	1,8	30,0	19,4	19,6	18,0	
		2,0	21,0	68,0	48,0	15,2	1,7	30,0	40,4	27,9	26,7	
		4,0	22,0	64,0	49,2	14,3	1,7	30,0	44,3	33,9	27,6	
		6,0	24,0	60,0	48,6	15,6	1,8	30,0	46,3	38,6	29,3	
		8,0	25,0	60,0	49,4	15,9	1,9	30,0	46,0	41,4	32,3	
50	33,2	10,0	26,0	60,0	48,6	17,6	2,0	30,0	47,8	42,9	34,1	
		12,0	26,0	66,0	49,9	18,1	2,2	30,0	46,8	44,0	36,1	
		0,0	23,0	81,0	22,0	86,0	2,3	40,0	21,9	21,9	21,4	
		2,0	23,0	78,0	49,1	18,6	2,2	40,0	42,3	31,0	29,2	
		4,0	25,0	68,0	49,5	17,9	2,1	40,0	43,7	37,1	29,5	
		6,0	27,0	68,0	48,8	20,9	2,4	40,0	43,3	40,2	32,8	
		8,0	27,0	67,0	50,7	18,7	2,4	40,0	45,6	41,7	36,7	
		10,0	27,0	68,0	49,1	20,6	2,4	40,0	46,1	44,2	39,6	
		12,0	27,0	70,0	49,5	20,8	2,5	40,0	45,1	43,7	40,4	

Legenda:

T - temperatura

F - fluxo de ar insuflado

TS - tempo de secagem

UR - umidade relativa

PV - pressão de vapor

PE - pressão estática

D₁, D₂, D₃ - distâncias radiais em relação ao cilindro central de insuflação de ar

afirmações de Brandenburg et al. (1961) e Brooker et al. (1974) a respeito das relações entre pressão estática e fluxo de ar em secagens estacionárias. Por outro lado, fixadas as condições de fluxo e de temperatura do ar insuflado, não foi verificada qualquer alteração na pressão estática que sugerisse as variações, observadas por Cavariani (1996) em milho, no espaço poroso da massa durante o processo; paralelamente, os valores máximos encontrados (40 mm ca) são indicadores de características aerodinâmicas favoráveis do equipamento, para secagem de sementes de soja, proporcionadas pela reduzida espessura da massa de sementes, conforme o mencionado por Mclean (1980).

Os dados de temperatura da massa permitiram verificar decréscimos à medida em que era ampliada a distância das sementes ao cilindro de insuflação do ar. Para cada distância, as temperaturas cresceram, com o andamento da secagem, em magnitudes que se ampliaram com a aproximação ao cilindro de insuflação. De uma forma geral, a estabilização da temperatura da massa tendeu a ser retardada com o aumento da distância e os valores máximos atingidos, ao longo da secagem, foram invariavelmente inferiores aos da temperatura do ar insuflado. Especificamente em D₃, região de aquecimento mais lento, a elevação do fluxo favoreceu a aproximação à estabilidade que, contudo, não foi conseguida em nenhum dos tratamentos.

As variações de temperatura (Tabela 6) entre as distâncias D₁ e D₃, indicativas da uniformidade térmica do processo, aumentaram, em geral,

até a sexta hora operacional; a partir desse ponto, foram sendo reduzidas com o andamento da secagem. Os valores encontrados, ao final do processo, sugeriram que a ampliação do fluxo, independentemente da temperatura do ar insuflado, promoveu redução nos gradientes de temperatura da massa. As diferenças encontradas, situadas entre 3,8 e 12°C, foram inferiores às verificadas por Pasin (1991), em soja, e superiores às constatadas, em arroz, por Corrêa (1981). A homogeneização da temperatura da massa, proveniente da mistura das sementes pelo sistema de descarga do secador, é fato que, segundo Mclean (1980) e Pasin (1991), colabora para evitar consequências danosas à conservação de massas de sementes armazenadas com temperaturas distintas em sua extensão.

Tabela 6. Variações (°C) entre as temperaturas da massa de sementes de soja ($T^{\circ}\text{C}$ em D_1 - $T^{\circ}\text{C}$ em D_3) durante secagens estacionárias com diferentes fluxos e temperaturas do ar insuflado. Ponta Grossa, PR, 1995.

TRATAMENTOS		TEMPO DE SECAGEM					
T °C	FLUXO m ³ /min/t	h					
		2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0
42	26,9	5,0	9,9	13,4	14,2	12,9	11,8
	28,4	9,9	12,9	12,5	11,3	9,6	8,7
	33,2	11,0	12,6	10,1	8,2	5,5	3,8
46	26,9	9,2	10,9	12,2	12,8	10,7	9,8
	28,4	10,4	15,4	17,8	15,8	13,6	11,2
	33,2	10,5	10,6	8,7	7,2	5,9	3,8
50	26,9	10,0	14,4	16,6	15,0	14,2	12,0
	28,4	13,7	16,7	17,0	13,7	13,7	10,7
	33,2	13,1	14,2	10,5	8,9	6,5	4,7

As Tabelas 7, 8, 9 apresentam os dados do teor de água das sementes, nas distâncias D_1 , D_2 e D_3 , e os valores da média ponderada na massa durante as secagens. Consistentemente, houve similaridade entre os valores obtidos em D_2 e os calculados para a média ponderada da massa. A retirada de água das sementes foi incrementada, em geral, como consequência de elevações, isoladas ou concomitantes, de fluxos e de temperaturas.

Como o previsto, o processo de secagem ocorreu no sentido de D_1 para D_3 , refletindo os efeitos das variações na temperatura da massa. Assim, as diferenças observadas entre os dados do teor de água de D_1 e D_3 (Tabela 10), inicialmente crescentes com o desenvolvimento do processo, tenderam à redução ao final da operação. Contudo, as variações nos fluxos e nas temperaturas do ar insuflado não definiram, com clareza, a interferência dos tratamentos nos gradientes observados. No entanto, os dados de velocidade de secagem (Tabela 11) indicaram que a combinação entre o fluxo e a temperatura intermediários ($28,4 \text{ m}^3/\text{min/t}$ e 46°C) foi a mais rápida na retirada da água, independentemente da distância considerada. Confirmando o constatado para o teor de água, as sementes da distância D_2 representaram adequadamente o comportamento da velocidade média ponderada de secagem (Tabela 11), sugerindo que a evolução do processo possa ser acompanhada na porção intermediária da massa, em concordância com o observado por Cavariani (1996).

Tabela 7. Teores (%) de água das sementes de soja: valores obtidos nas distâncias D₁, D₂ e D₃ e média ponderada da massa em secagens estacionárias conduzidas sob 42°C com variações no fluxo do ar insuflado. Ponta Grossa, PR, 1995.

TRATAMENTOS		TEMPO DE SECAGEM	% DE ÁGUA			
T	FLUXO					MÉDIA DA MASSA
°C	m ³ /min/t	h	D ₁	D ₂	D ₃	
42	26,9	0,0	17,9	18,2	18,8	18,4
		2,0	17,2	19,4	20,4	19,1
		4,0	14,7	18,1	21,2	18,3
		6,0	13,2	17,3	20,3	17,3
		8,0	10,6	19,2	19,3	16,7
		10,0	10,1	15,9	18,9	15,4
		12,0	10,4	13,5	15,6	13,4
42	28,4	0,0	17,6	17,5	17,6	17,6
		2,0	15,5	17,0	17,4	16,7
		4,0	13,0	16,7	16,6	15,6
		6,0	11,7	14,4	16,1	14,3
		8,0	10,6	12,6	15,3	13,1
		10,0	10,0	12,2	13,9	12,2
		12,0	9,5	11,7	13,6	11,8
42	33,2	0,0	16,3	15,9	16,5	16,3
		2,0	13,8	16,0	16,7	15,6
		4,0	12,4	13,7	16,3	14,4
		6,0	11,5	12,7	16,1	13,7
		8,0	9,9	11,6	13,4	11,8
		10,0	9,9	10,0	12,3	10,9
		12,0	6,9	9,8	12,5	10,0

Tabela 8. Teores (%) de água das sementes de soja: valores obtidos nas distâncias D₁, D₂ e D₃ e média ponderada da massa em secagens estacionárias conduzidas sob 46°C com variações no fluxo do ar insuflado. Ponta Grossa, PR, 1995.

TRATAMENTOS		TEMPO DE SECAGEM	% DE ÁGUA			
T	FLUXO					MÉDIA DA MASSA
°C	m ³ /min/t	h	D ₁	D ₂	D ₃	
46	26,9	0,0	16.8	16.2	15.7	16.2
		2,0	14.3	15.5	15.4	15.1
		4,0	12.4	14.8	15.9	14.5
		6,0	10.8	12.9	15.1	13.2
		8,0	9.8	11.8	13.8	12.0
		10,0	8.8	10.7	12.9	11.0
		12,0	9.0	9.4	11.9	10.3
46	28,4	0,0	19.9	19.9	20.2	20.0
		2,0	17.9	19.9	19.5	19.1
		4,0	14.5	17.7	19.6	17.5
		6,0	13.5	16.4	18.2	16,3
		8,0	11.2	13.7	16.1	13.9
		10,0	10.8	13.3	16.5	13.8
		12,0	7.4	9.4	11.5	9.6
46	33,2	0,0	16.4	15.6	16.5	16.2
		2,0	12.9	14.8	15.7	14.6
		4,0	11.9	14.2	15.6	14.1
		6,0	10.9	11.8	14.0	12.4
		8,0	10.2	11.1	14.1	12.0
		10,0	9.5	10.5	11.6	10.6
		12,0	8.9	10.1	10.9	10.1

Tabela 9. Teores (%) de água das sementes de soja, valores obtidos nas distâncias D₁, D₂ e D₃ e média ponderada da massa em secagens estacionárias conduzidas sob 50°C com variações no fluxo do ar insuflado. Ponta Grossa, PR, 1995.

TRATAMENTOS		TEMPO DE SECAGEM	% DE ÁGUA			
T	FLUXO					MÉDIA DA MASSA
°C	m ³ /min/t	h	D ₁	D ₂	D ₃	
50	26,9	0,0	16.3	16.7	16.6	16.5
		2,0	14.9	16.5	17.1	16.3
		4,0	12.3	15.9	17.2	15.3
		6,0	11.2	13.7	17.3	14.4
		8,0	9.7	12.0	15.9	12.9
		10,0	9.6	11.8	15.1	12.5
		12,0	8.5	10.7	13.8	11.3
50	28,4	0,0	18.1	18.0	18.6	18.3
		2,0	15.5	17.4	17.7	16.9
		4,0	12.6	15.9	17.3	15.5
		6,0	11.2	14.6	16.8	14.5
		8,0	10.2	12.6	15.3	13.0
		10,0	9.7	12.7	15.1	12.8
		12,0	9.2	11.9	13.2	11.6
50	33,2	0,0	17.3	18.2	18.0	17.9
		2,0	15.0	17.2	17.6	16.7
		4,0	13.2	15.2	17.0	15.3
		6,0	12.1	13.2	16.1	14.0
		8,0	10.5	12.2	14.3	12.5
		10,0	10.1	11.3	12.5	11.4
		12,0	9.1	10.5	12.5	10.9

Tabela 10. Variações (%) entre os teores de água das sementes de soja (%H₂O em D₃ - %H₂O em D₁) durante secagens estacionárias conduzidas com diferentes fluxos e temperaturas do ar insuflado. Ponta Grossa, PR, 1995.

TRATAMENTOS		TEMPO DE SECAGEM					
T °C	FLUXO m ³ /min/t	h					
		2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0
42	26,9	3,2	6,5	7,1	8,7	8,8	5,2
	28,4	1,9	3,6	4,4	4,7	3,9	4,1
	33,2	2,9	3,9	4,6	3,5	2,4	5,6
46	26,9	1,1	3,5	4,3	4,0	4,1	2,9
	28,4	1,6	5,1	4,7	4,9	5,7	4,1
	33,2	2,8	3,7	3,1	3,9	2,4	2,0
50	26,9	2,2	4,9	6,1	6,2	5,5	5,3
	28,4	2,2	4,7	5,6	5,1	5,4	4,0
	33,2	2,6	3,8	4,0	3,8	2,4	3,4

Tabela 11. Velocidade média de secagem (%H₂O/h) das sementes de soja: valores obtidos nas distâncias D₁, D₂ e D₃ e média ponderada da massa, após secagens estacionárias de 12,0 h, conduzidas com diferentes fluxos e temperaturas do ar insuflado. Ponta Grossa, PR, 1995.

TRATAMENTOS		VELOCIDADE DE SECAGEM (% H ₂ O/h)			
T °C	FLUXO m ³ /min/t	D1	D2	D3	MÉDIA DA MASSA
42	26,9	0,63	0,39	0,27	0,41
	28,4	0,68	0,48	0,33	0,48
	33,2	0,78	0,51	0,33	0,52
46	26,9	0,65	0,57	0,32	0,49
	28,4	1,04	0,88	0,73	0,87
	33,2	0,63	0,46	0,47	0,52
50	26,9	0,65	0,50	0,23	0,44
	28,4	0,74	0,51	0,45	0,56
	33,2	0,68	0,64	0,46	0,58

As curvas de regressão, referentes à evolução do teor de água das sementes durante as secagens, acham-se representadas nas Figuras 4.1 a 6.3.

Ainda que estatisticamente significativas, indicando adequado ajuste aos dados experimentais, as equações revelaram menor capacidade de explicação do fenômeno, com R^2 inferior a 0,70, na distância D_3 para as combinações de 26,9 e 33,2 $\text{m}^3/\text{min}/\text{t}$ com 42°C e de 28,4 $\text{m}^3/\text{min}/\text{t}$ com 50°C. Provavelmente, o fato tenha sido decorrência da reduzida variação entre os teores de água (Tabelas 7 a 9), obtidos em D_3 no início do processo, que sugeriu demora na chegada da frente de secagem a essa região da massa. O avanço da frente de secagem é determinado, principalmente, pelo fluxo de ar empregado (Boyd et al., 1974; Paula, 1976; Zimmer, 1989) e relaciona-se com a velocidade de remoção de água das sementes.

Sob temperatura de 42°C no ar insuflado (Figuras 4.1 a 4.3), constatou-se aumento na capacidade de remoção de água da massa com a elevação do fluxo de ar; excetuando-se o observado nas distâncias D_2 e D_3 , para os menores fluxo e temperatura, os decréscimos do teor de água ocorreram linearmente. Sob o fluxo de 26,9 $\text{m}^3/\text{min}/\text{t}$, o tempo demandado para a remoção de água das sementes situadas em D_2 e D_3 , função do momento de

Figura 4.1

Figura 4.2

Figura 4.3

Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 - Curvas de secagem de sementes de soja obtidas nas distâncias D₁, D₂ e D₃, com amplitude de variação dos dados de teor de água, em secagens estacionárias sob 42°C e alterações no fluxo do ar insuflado.

Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 - Curvas de secagem de sementes de soja obtidas nas distâncias D₁, D₂ e D₃, com amplitude de variação dos dados de teor de água, em secagens estacionárias sob 46°C e alterações no fluxo do ar insuflado.

Figura 6.1

Figura 6.2

Figura 6.3

Figuras 6.1, 6.2 e 6.3 - Curvas de secagem de sementes de soja obtidas nas distâncias D₁, D₂ e D₃, com amplitude de variação dos dados de teor de água, em secagens estacionárias sob 50°C e alterações no fluxo do ar insuflado.

chegada da frente de secagem à região, não permitiu a secagem adequada da totalidade da massa que, ao final da operação, apresentava-se com 13,4% H₂O (Tabela 7). Nos fluxos de 28,4 e 33,2 m³/min/t, a chegada da frente de secagem às posições mais distanciadas da fonte do ar aquecido, antes da metade do período operacional, possibilitou as condições necessárias à secagem da massa, muito embora, em D₁, tenha havido secagem excessiva do produto (Tabela 7) considerando que a soja tem armazenamento recomendado com, aproximadamente, 13% H₂O. (Brooker, et al. 1974; Popinigis, 1977; Roa & Villa, 1977; Cerqueira, 1979; Justice & Bass, 1979).

Durante o uso de 46°C, o teor de água das sementes, independentemente das distâncias, reduziu-se linearmente com o avanço da secagem estacionária nos três fluxos de ar (Figuras 5.1 a 5.3). Apesar da intensidade de secagem decrescer com o aumento da distância das sementes à entrada da insuflação do ar, ficou caracterizada a capacidade dos tratamentos realizarem secagem efetiva da massa, conforme evidenciam as médias ponderadas do teor de água (Tabela 8). A ocorrência de secagem excessiva, ao final da operação, foi observada em todas as distâncias e fluxos de ar. Ainda que mais pronunciadamente nas distâncias D₁ e D₂, os fluxos de ar possibilitaram a chegada da frente de secagem em D₃, caracterizada pelas elevações da temperatura (Tabela 4) e da perda de água nas sementes (Tabela 8), em tempos decrescentes à medida em que eram aumentados os seus valores. Contudo, considerando o comportamento da massa, o fluxo de

28,4 m³/min/t permitiu os menores diferenciais no teor de água entre D₁ e D₃ (Tabela 10) e, paralelamente, apresentou a maior velocidade de secagem (Tabela 11).

Na temperatura de 50°C (Figuras 6.1 a 6.3), verificaram-se, igualmente ao ocorrido sob 46°C, reduções lineares do teor de água, ao longo do período de secagem, em intensidades decrescentes com a ampliação das distâncias ao cilindro central. Foi observada, adicionalmente, efetividade de todos os fluxos efetuarem secagem, em toda a extensão da massa, ao serem consideradas as médias ponderadas finais de umidade das sementes (Tabela 9). Na distância D₁, constatou-se secagem excessiva das sementes, de ocorrência retardada com o aumento do fluxo, não observada nas demais distâncias (Tabela 9) e, paralelamente, maior velocidade de secagem com fluxo de 28,4 m³/min/t (Tabela 11); em D₂ e D₃, a perda de água foi progressivamente acelerada com a elevação dos fluxos (Tabela 11). Contudo, contrariamente ao ocorrido a 46°C, nenhum dos fluxos chegou a promover secagem excessiva em D₃ (Tabela 9).

As informações da literatura a respeito da secagem estacionária de sementes de soja referem-se, basicamente, ao sistema com insuflação axial do ar. Todavia, o elevado tempo demandado pela secagem neste método, aliado à necessidade do emprego de ventiladores com capacidade para garantir os fluxos desejados, em situações de alta pressão estática, constituíram-se em limitações à sua adoção; a aceleração da

operação, compatibilizada com a economia operacional, demandou a redução da espessura da massa que, em contrapartida, proporcionava subutilização da capacidade de trabalho dos equipamentos. O surgimento dos secadores estacionários com distribuição radial do ar insuflado possibilitou a superação de tais limitações, carecendo, no entanto, de definições quanto aos parâmetros operacionais a serem seguidos.

Levando em conta as curvas de secagem, observou-se que as relações entre o teor de água das sementes e o tempo de secagem foram representadas, na maior parte dos casos, por funções lineares independentemente das combinações de fluxos com temperaturas e das distâncias à superfície de injeção do ar aquecido na massa. A linearidade observada é consoante com os resultados encontrados por Luz (1986), Bounous (1986), Vega (1989) e Villela (1991) que, entretanto, utilizaram método intermitente para o fornecimento do calor.

Considerando as distâncias D_1 e D_2 , as curvas de secagem concordaram, aproximadamente, com as destacadas, para operações em camadas delgadas, por Kreyger (1973), Westerman et al. (1973), Brooker et al. (1974), Hall (1980) e Baker et al. (1991); contudo, apesar de haver ocorrido estabilização das temperaturas das sementes durante o processo, os dados não caracterizaram os períodos de indução e de velocidade decrescente, descritos como típicos na secagem de produtos biológicos. A inexistência do período de velocidade decrescente, indicativo de desequilíbrio entre a

remoção superficial da água e a migração do interior para a superfície das sementes, foi referida por Kreyger (1973), Brooker et al. (1974), Hall (1980), Villela (1991) e Cavariani (1996). Volume de produto significativamente elevado, e reduzida diferença relativa entre os teores inicial e final de água, são aspectos que devem ter concorrido para a aparente discordância entre as curvas obtidas e a curva típica de secagem; as primeiras, presumivelmente, representaram segmento intermediário da segunda. Contudo, os tratamentos possibilitaram as condições necessárias às transferências de calor e de massa que redundaram em intensificação da evaporação da água das sementes.

O deslocamento do ar insuflado, em secagens estacionárias, pode ocasionar a manutenção, ou mesmo a elevação, do grau de umidade das sementes mais distanciadas da zona de entrada do ar aquecido e não atingidas pela frente de secagem. A chegada desta corresponde, aproximadamente, ao momento em que a elevação da temperatura e a redução do teor de água das sementes se acentuam (Matthes & Rushing, 1972). O caminhamento da frente de secagem, independentemente das temperaturas, foi alterado à medida em que maiores fluxos de ar eram utilizados, confirmando o descrito por Brooker et al. (1974) e Biagi et al. (1992). Como o esperado, a velocidade de secagem reduziu-se com a ampliação das distâncias das sementes do cilindro central.

As sementes de soja são consideradas produto rico em óleo e, portanto, com predominância de água tipo 3 (Biagi et al. 1992; Vertucci, 1993).

Esse tipo de água, facilmente removido durante os processos de secagem, poderia estimular a aplicação de procedimentos de secagem rápida do produto. Todavia, secagens demasiadamente rápidas podem, neste caso, provocar alterações que resultem em ruptura no tegumento e em tecidos embrionários, comprometendo o controle de permeabilidade das membranas celulares (França Neto, 1984). As velocidades de secagem constatadas mostraram-se superiores às citadas por Mclean (1980) como passíveis de obtenção em equipamentos semelhantes. Tendo em vista os teores finais de água atingidos, a velocidade mínima de 0,44% H_2O/h , proporcionada por todas as combinações fluxo-temperatura utilizadas, excetuada a de 26,9 $m^3/min/t$ com 42°C, mostrou-se como a mais adequada para secagem de sementes de soja no período testado.

A uniformidade do processo de secagem apresenta relação direta com o fluxo de ar empregado (Brandenburg et al., 1961; Biagi et al., 1992). Pelas características inerentes ao modo como as sementes se comportam na secagem estacionária, verifica-se desuniformidade do teor de água entre sementes de diferentes distâncias à insuflação do ar aquecido, que diminui com a redução na espessura da massa (Brooker et al., 1974; Mclean, 1980; Dalpasquale et al., 1987; Corrêa, 1981; Pasin, 1991).

As variações do teor de água, entre pontos extremos da massa, elevaram-se no transcurso da secagem até, aproximadamente, a oitava hora operacional, quando iniciaram tendência de redução. Fixadas as

temperaturas, os valores encontrados foram sendo reduzidos, especialmente a 46 e 50°C, com o aumento do fluxo de ar, concordando com Brooker et al. (1974) e Biagi et al. (1992). Dentro de cada fluxo, as tendências decorrentes da elevação da temperatura foram variáveis ao longo do tempo de secagem; ao final da operação, o fluxo de 28,4 m³/min/t não indicou efeitos da temperatura enquanto, os demais, apresentaram os menores valores sob 46°C. Nessas condições, verifica-se que a velocidade máxima de secagem, obtida com 28,4 m³/min/t e 46°C, trouxe o inconveniente do surgimento de gradientes superiores aos proporcionados, ao término do processo, por operações mais lentas. Por outro lado, todos os gradientes foram próximos aos encontrados em secagens semelhantes de sementes de arroz (Corrêa, 1981), de soja (Pasin, 1991) e de milho (Cavariani, 1996). Para Mclean (1980), Dalpasquale et al. (1987) e Pasin (1991), os gradientes, normalmente observados em secagens estacionárias, não causam efeitos prejudiciais às sementes uma vez que, na descarga do secador, ocorre mistura suficiente para uniformizar a distribuição da umidade pela massa.

Considerando o conjunto dos aspectos físicos estudados, a combinação de 28,4 m³/min/t com 46°C revelou-se como a mais adequada para realização da secagem, o contrário sucedendo com a combinação de 26,9 m³/min/t com 42°C.

4.2. Avaliação da qualidade das sementes

O teor de água das sementes (Tabela 12) apresentou, fixados os períodos de armazenamento, variações em seus valores. No entanto, quando verificados os dados médios obtidos por tratamento, as diferenças foram reduzidas e não sugeriram a existência de efeitos relacionados aos tratamentos, capazes de interferir na interpretação dos dados fisiológicos.

Os testes fisiológicos utilizados não foram completamente uniformes nas indicações fornecidas sobre os tratamentos, confirmando o relatado por Cavariani (1996) quanto à dificuldade existente para a escolha de determinações voltadas à estimativa da qualidade fisiológica em sementes. As Tabelas 13 e 14 apresentam os dados fisiológicos, relativos aos efeitos imediatos (0 mês) e latentes (6 meses), obtidos no armazenamento e relacionados às variações nas distâncias e nos tempos de secagem.

Fixados os tempos de secagem, foram observadas, considerando os efeitos imediatos (0 mês), tendências de redução qualitativa com a ampliação da distância, no período operacional de 4h., pelos testes de germinação, de envelhecimento acelerado e de emergência; contudo, ampliado o período de secagem, esse fato foi detectado, exclusivamente, pelos testes de envelhecimento acelerado (4h) e de germinação (12h). Por outro lado, quando verificados os efeitos latentes, tendências idênticas foram

Tabela 12. Dados do teor (%) de água da semente de soja, submetidas a diferentes tempos de secagem com variações no fluxo e na temperatura do ar insuflado, no início (0 mês) e no final (6 meses) do armazenamento. Ponta Grossa, PR, 1995.

T °C	F m ³ /min/t	T S h	ARMAZENAMENTO							
			0 MÊS				6 MESES			
			D ₁	D ₂	D ₃	Médias	D ₁	D ₂	D ₃	Médias
42	26,9	0,0	10,4	10,8	10,9	10,7	12,8	11,6	12,0	12,1
		4,0	11,1	10,6	10,9	10,9	13,1	12,4	13,1	12,9
		8,0	10,1	10,0	10,1	10,1	12,2	12,6	12,8	12,5
		12,0	10,3	10,6	10,7	10,5	12,7	11,1	11,1	11,6
		Médias	10,5	10,5	10,7	10,6	12,7	11,9	12,3	12,3
	28,4	0,0	10,4	10,8	10,4	10,5	12,8	11,7	12,5	12,3
		4,0	10,4	10,8	10,4	10,5	12,8	13,0	12,0	12,6
		8,0	10,0	10,5	10,1	10,2	12,1	13,1	13,1	12,8
		12,0	10,5	10,5	10,3	10,4	12,9	13,1	13,7	13,2
		Médias	10,3	10,7	10,3	10,4	12,7	12,7	12,8	12,7
	33,2	0,0	10,0	10,5	10,4	10,3	12,7	11,8	12,9	12,5
		4,0	10,6	11,3	11,0	11,0	13,0	12,7	12,5	12,7
		8,0	10,0	10,2	10,2	10,1	13,1	13,9	13,7	13,6
		12,0	10,0	10,4	10,5	10,3	13,0	12,4	13,8	13,1
		Médias	10,2	10,6	10,5	10,4	13,0	12,7	13,2	13,0
46	26,9	0,0	11,0	10,5	10,5	10,7	12,7	13,1	12,8	12,9
		4,0	10,1	10,5	10,1	10,2	11,6	11,6	13,3	12,2
		8,0	10,0	10,2	10,2	10,1	11,9	11,6	12,3	11,9
		12,0	10,1	10,3	10,3	10,2	13,9	13,5	12,5	13,3
		Médias	10,3	10,4	10,3	10,3	12,5	12,5	12,7	12,6
	28,4	0,0	10,5	10,6	10,1	10,4	12,7	12,8	13,0	12,8
		4,0	10,5	10,3	11,0	10,6	10,3	11,6	12,9	11,6
		8,0	10,7	11,0	10,7	10,8	11,7	12,2	12,6	12,2
		12,0	9,9	10,4	10,5	10,3	12,7	11,4	13,4	12,5
		Médias	10,4	10,6	10,6	10,5	11,9	12,0	13,0	12,3
	33,2	0,0	10,9	10,7	10,6	10,7	12,6	13,1	12,9	12,9
		4,0	9,8	10,0	10,2	10,0	11,3	12,6	13,7	12,5
		8,0	9,4	9,9	9,9	9,7	12,8	10,1	11,7	11,5
		12,0	9,4	9,5	9,7	9,5	12,5	11,9	11,4	11,9
		Médias	9,9	10,1	10,1	10,0	12,3	11,9	12,4	12,2
50	26,9	0,0	10,6	10,9	10,9	10,8	12,9	12,3	12,7	12,6
		4,0	10,1	11,6	11,1	10,9	13,4	11,5	12,9	12,6
		8,0	9,4	9,9	10,2	9,8	11,7	11,3	12,8	11,9
		12,0	9,7	9,9	10,1	9,9	13,4	11,9	11,0	12,1
		Médias	10,0	10,6	10,6	10,4	12,9	11,8	12,4	12,3
	28,4	0,0	10,5	10,4	10,4	10,4	12,9	11,3	10,3	11,5
		4,0	10,2	10,5	10,9	10,5	12,1	12,5	13,8	12,8
		8,0	9,9	10,1	10,1	10,0	12,8	12,6	11,4	12,3
		12,0	9,6	10,0	10,1	9,9	12,6	13,3	12,4	12,8
		Médias	10,1	10,3	10,4	10,2	12,6	12,4	12,0	12,3
	33,2	0,0	10,3	9,2	9,6	9,7	13,0	10,9	11,6	11,8
		4,0	9,5	9,6	9,8	9,6	11,9	11,7	10,4	11,3
		8,0	9,8	10,3	9,9	10,0	12,0	13,2	13,4	12,9
		12,0	9,2	9,2	9,2	9,2	10,7	13,0	12,9	12,2
		Médias	9,7	9,6	9,6	9,6	11,9	12,2	12,1	12,1

Legenda:

T - temperatura

TS - tempo de secagem

F - fluxo de ar insuflado

D₁, D₂, D₃ - distâncias radiais em relação ao cilindro central de insuflação de ar

Tabela 13. Testes de germinação (G%), de condutividade elétrica (CE G%), de tetrazólio germinação (TZG%) e de tetrazólio vigor (TZV%): dados médios, considerando as distâncias à entrada do ar insuflado e o tempo de secagem, em sementes de soja submetidas ao armazenamento. Ponta Grossa, PR, 1995.

TESTE	TEMPO DE SECAGEM h	0 MÊS				6 MESES			
		Distâncias				Distâncias			
		D ₁	D ₂	D ₃	MÉDIAS	D ₁	D ₂	D ₃	MÉDIAS
G %	0,0	89,1Aa	88,6Aa	88,5Aa	88,8A	86,7Aa	86,5Ba	86,5ABa	86,6B
	4,0	89,4Aab	90,0Aa	88,1Ab	89,2A	87,6Aab	88,5Aa	85,9Bb	87,3AB
	8,0	90,0Aa	89,9Aa	88,5 Aa	89,5A	87,3Aa	88,1ABa	86,7ABa	87,4AB
	12,0	90,5Aa	89,4Aab	88,7Ab	89,6A	87,7Aa	87,4ABa	87,7Aa	87,6A
	MÉDIAS	89,8a	89,5a	88,5b	89,3	87,3a	87,6a	86,7a	87,2
CE G %	0,0	88,5Aa	88,1Aa	88,5Aa	88,4A	83,8Aa	82,1Aa	82,9 Aa	82,9A
	4,0	89,3Aa	89,7Aa	87,7Aa	88,9A	86,3Aa	83,4Ab	82,6Ab	84,1A
	8,0	89,0Aa	89,6Aa	87,7Aa	88,8A	84,9Aa	83,7Aa	84,7Aa	84,4A
	12,0	89,3Aa	90,4Aa	89,1Aa	89,6A	84,5Aa	82,9Aa	84,0Aa	83,8A
	MÉDIAS	89,0ab	89,4a	88,3b	88,9	84,9a	83,0b	83,6b	83,8
TZG %	0,0	84,5Aa	83,7Aa	84,1ABa	84,1B	84,9Aa	83,4Aab	82,6Ab	83,6A
	4,0	84,6Aa	83,8Aa	83,4Ba	83,9B	86,6Aa	84,1Ab	81,4Ac	84,0A
	8,0	86,0Aa	86,0Aa	86,0 Aa	86,0A	85,5Aa	83,4Aab	83,0Ab	84,0A
	12,0	85,8Aa	85,0Aa	84,0ABa	84,9AB	85,3Aa	83,9Aab	82,3Ab	83,9A
	MÉDIAS	85,2a	84,6a	84,4a	84,7	85,6a	83,7b	82,3c	83,9
TZV %	0,0	73,5Aa	73,2ABa	75,4 Aa	74,0A	70,9Aa	69,5Aab	67,4Bb	69,3A
	4,0	73,1Aa	71,1Ba	70,9Ba	71,7B	73,2Aa	71,9Aa	66,8Bb	70,6A
	8,0	74,6Aa	75,3Aa	75,3 Aa	75,0A	71,2Aa	69,6Aa	69,8 Aa	70,2A
	12,0	75,5Aa	73,6ABa	73,1ABa	74,0A	71,2Aa	69,9Aa	68,8ABa	70,0A
	MÉDIAS	74,2a	73,3a	73,7a	73,7	71,6a	70,2b	68,2c	70,0

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 14. Testes de envelhecimento acelerado (EA%), de emergência (E %), de comprimento de raiz (CR cm) e de comprimento de plântula (CP cm): dados médios, considerando as distâncias à entrada do ar insuflado e o tempo de secagem, em sementes de soja submetidas ao armazenamento. Ponta Grossa, PR, 1995.

TESTE	TEMPO DE SECAGEM	0 MÊS				6 MESES			
		Distâncias				Distâncias			
		D ₁	D ₂	D ₃	MÉDIAS	D ₁	D ₂	D ₃	MÉDIAS
EA %	0,0	77,6Ba	77,5Ba	78,1Aa	77,7B	70,6Cb	72,3Bab	74,7ABa	72,5B
	4,0	81,2Aa	79,3ABab	78,2Ab	79,6A	76,5 Aa	76,3Aa	73,6ABb	75,5A
	8,0	80,4Aab	81,3Aa	79,2Ab	80,3A	74,0ABa	74,9ABa	73,3Ba	74,1A
	12,0	80,8Aa	81,0Aa	80,2Aa	80,7A	73,3Bb	75,9Aa	75,4 Aa	74,9A
	MÉDIAS	80,0a	79,8a	78,9a	79,6	73,6a	74,8a	74,3a	74,2
E %	0,0	75,7Ba	74,8ABa	75,0Aa	75,1A	56,1Aa	54,2Aa	56,1Aa	55,5A
	4,0	78,2Aa	75,6ABab	73,5Ab	75,7A	54,9Aa	55,1Aa	54,7Aa	54,9A
	8,0	75,2Bb	77,3Aa	74,3Ab	75,6A	54,4Aa	55,3Aa	52,9Aa	54,2A
	12,0	75,9ABa	74,0Ba	75,3Aa	75,1A	53,9Aa	55,9Aa	55,9Aa	55,2A
	MÉDIAS	76,2a	75,4ab	74,5b	75,4	54,8a	54,9a	55,1a	55,0
CR cm	0,0	15,8Bb	16,4Aa	16,4Aa	16,2B	18,7Aa	18,6Aa	17,4Ab	18,2A
	4,0	17,0ABa	16,8Aa	16,6Aa	16,8AB	18,8Aa	18,6Aa	17,5Ab	18,3A
	8,0	17,3Aa	17,3Aa	17,3Aa	17,3A	18,7Aa	18,9Aa	17,8Ab	18,5A
	12,0	17,1ABa	17,3Aa	17,5Aa	17,3A	18,6Aa	18,5Aa	17,7Ab	18,3A
	MÉDIAS	16,6a	16,9a	17,0a	16,9	18,7a	18,6a	17,6b	18,3
CP cm	0,0	21,0Bb	22,0Aa	22,0Aa	21,7B	24,8Aa	24,5Aa	23,3Ab	24,2A
	4,0	22,6ABa	22,5Aa	22,1Aa	22,4AB	24,8Aa	24,3Aab	23,8Ab	24,3A
	8,0	23,5Aa	23,0Aa	22,9Aa	23,1A	24,5Aa	24,8Aa	23,7Ab	24,3A
	12,0	22,9Aa	23,0Aa	23,2Aa	23,0A	24,5Aa	24,3Aab	23,7Ab	24,2A
	MÉDIAS	22,5a	22,7a	22,5a	22,6	24,7a	24,5a	23,6b	24,2

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

invariavelmente constatadas, em todos os tempos operacionais pelos testes de tetrazólio (germinação) e de comprimentos de raiz e de plântula, apontando prejuízos fisiológicos às sementes das maiores distâncias. Assim, apesar de não se apresentar em todas as avaliações realizadas, essa constatação indica resultados, em relação aos efeitos provenientes do posicionamento na massa, contrários aos encontrados em secagens estacionárias com distribuições radial (McClean, 1980; Corrêa, 1981; Pasin, 1991; Cavariani, 1996) e axial do fluxo de ar (Boyd et al., s.d.). Vale destacar, contudo, que essa indicação foi observada, inclusive, em quatro das determinações realizadas no material que não havia sido submetido à secagem (0 h); este fato, em contrapartida, atua reduzindo a validade da interpretação formulada.

Quando fixadas as distâncias, os efeitos imediatos e latentes, obtidos no conjunto dos testes, foram desordenados e não sugeriram tendências consistentes relacionadas aos períodos de secagem.

A combinação de valores elevados, na temperatura e no teor de água das sementes, é reconhecida como prejudicial à qualidade fisiológica (Brooker et al., 1974; Boyd, 1974; Lasseran, 1978; Carvalho, 1994). Observados os dados físicos (Tabelas 3 a 5 e 7 a 9), verifica-se relação inversa da temperatura com o teor de água das sementes que, invariavelmente, mostrou associação entre a eficiência da secagem com a capacidade de acelerar o aquecimento da massa. Muito embora a massa tenha atingido valores superiores ao de 43°C recomendado como limite

máximo na secagem de sementes de soja (Welch, 1967; Villa & Roa, 1979; Peske & Baudelt, 1980; Cabello, 1982; Peske & Aguirre 1987), em vários casos que envolveram as distâncias D_1 e D_2 , nas maiores temperaturas do ar insuflado (Tabelas 4 e 5), as sementes fisiologicamente mais prejudicadas foram as que achavam-se em D_3 com as menores temperaturas e, conseqüentemente, com os maiores graus de umidade. Assim, verifica-se que, na operação de secagem, o controle da temperatura, por si só, não garante a preservação do desempenho fisiológico das sementes, havendo a necessidade de sua compatibilização com a eficiência física do processo.

Os dados de desempenho fisiológico das sementes, relacionados aos efeitos imediatos (0 mês) e latentes (6 meses) provocados pelos fluxos e temperaturas do ar insuflado, estão apresentados nas Tabelas 15 e 16.

Os testes para avaliação da qualidade fisiológica, quando individualmente analisados, indicaram ações interativas dos tratamentos com tendências pouco consistentes. Por esse motivo, objetivando facilitar a interpretação dos dados, as interações foram estudadas (Tabelas 17 e 18) considerando o número e a freqüência das superioridades estatísticas encontradas no conjunto dos testes.

Tabela 15. Testes de germinação (G%), condutividade elétrica (CE G%), de tetrazólio germinação (TZG%) e de tetrazólio vigor (TZV%): dados médios, considerando os fluxos e as temperaturas do ar insuflado na secagem, em sementes de soja submetidas ao armazenamento. Ponta Grossa, PR, 1995.

TESTE	Fluxo (m ³ /mim/t)	0 MÊS				6 MESES			
		Temperatura				Temperatura			
		42° C	46° C	50° C	MÉDIAS	42° C	46° C	50° C	MÉDIAS
G %	26,9	88,0Bb	92,3Aa	91,2 Aa	90,5A	85,2Bb	89,7Aa	88,0Aa	87,7A
	28,4	89,1ABa	88,1Ba	89,5Ba	88,9B	86,8Ba	86,6Ba	88,0Aa	87,1A
	33,2	90,5Aa	90,8Aa	83,7Cb	88,3B	88,8Ab	90,2Aa	81,7Bc	86,9A
	MÉDIAS	89,2b	90,4a	88,1c	89,2	86,9b	88,8 a	85,9c	87,2
CE G %	26,9	88,7Ba	88,1Ba	89,8Aa	88,9AB	82,9Bb	81,8Bb	86,3Aa	83,7A
	28,4	88,4Ba	86,0Bb	90,0Aa	88,1B	85,8Aa	81,4Bb	83,5Bab	83,6A
	33,2	90,9Aa	91,0Aa	87,4Bb	89,7A	88,1Aa	87,1Aa	77,4Cb	84,2A
	MÉDIAS	89,3a	88,4a	89,0a	88,9	85,6a	83,4b	82,4b	83,8
TZG %	26,9	83,7Ba	85,3Aa	84,9Aa	84,6AB	83,3Bb	85,5Aab	85,9Aa	84,9A
	28,4	85,8ABab	83,9Ab	87,1Aa	85,6A	85,7Aa	83,8ABb	85,8Aa	85,1A
	33,2	86,1Aa	86,6Aa	79,3Bb	84,0B	84,4ABa	82,9Ba	77,4Bb	81,5B
	MÉDIAS	85,2a	85,3a	83,8a	84,7	84,1a	84,1ab	83,0b	83,9
TZV %	26,9	73,4Aa	72,6Ba	74,8Aa	73,6AB	70,7Aa	72,1Aa	72,8Aa	71,9A
	28,4	74,7Aab	73,2Bb	76,3Aa	74,7A	72,0Aa	68,0Bb	72,1Aa	70,7A
	33,2	75,4Aa	77,7Aa	65,3Bb	72,8B	72,4Aa	67,7Bb	62,3Bc	67,5B
	MÉDIAS	74,5a	74,5a	72,1b	73,7	71,7a	69,3b	69,1b	70,0

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 16. Testes de envelhecimento acelerado (EA%), de emergência (E%), de comprimento de raiz (CR cm) e de comprimento de plântula (CP cm): dados médios, considerando os fluxos e as temperaturas do ar insuflado na secagem, em sementes de soja submetidas ao armazenamento. Ponta Grossa, PR, 1995.

TESTE	Fluxo (m ³ /min/t)	0 MÊS				6 MESES			
		Temperatura				Temperatura			
		42° C	46° C	50° C	MÉDIAS	42° C	46° C	50° C	MÉDIAS
EA %	26,9	79,0Ab	86,4Aa	80,2Ab	81,9A	72,8Bb	79,0Aa	77,8Aa	76,5A
	28,4	78,9Aa	78,3Ca	80,8Aa	79,3B	76,6Aa	72,2Bb	73,4Bb	74,1B
	33,2	81,9Aa	82,4Ba	68,2Bb	77,5C	78,1Aa	77,9Aa	60,4Cb	72,1C
	MÉDIAS	79,9b	82,4a	76,4c	79,6	75,8a	76,4a	70,5b	74,2
E %	26,9	75,0Ac	81,9 Aa	78,3Ab	78,4A	59,5Aa	58,6Aa	58,1Aa	58,7A
	28,4	75,9Aa	73,0Bb	75,9Ba	74,9B	58,6Aa	57,4Aa	56,1Aa	57,7A
	33,2	76,4Aa	76,5Ba	65,8Cb	72,9C	54,3Aa	45,2Bb	46,7Bb	48,8B
	MÉDIAS	75,8a	77,1a	73,3b	75,4	57,5a	53,7b	53,6b	55,0
CR cm	26,9	17,4Aa	15,6Bb	15,8Cb	16,3C	19,0Aa	18,7Aa	17,9Ab	18,5A
	28,4	15,8Bb	19,0Aa	18,6Aa	17,8A	18,5Aa	18,7Aa	17,9ABa	18,4AB
	33,2	15,9Bb	16,0Bb	18,0Ba	16,6B	18,8Aa	18,1Ab	17,3Bc	18,1B
	MÉDIAS	16,4a	16,8a	17,4a	16,9	18,8a	18,5a	17,7b	18,3
CP cm	26,9	23,8Aa	20,8Bb	21,2Cb	22,0B	25,4Aa	24,8ABa	23,5Ab	24,5A
	28,4	21,6Bc	25,9Aa	25,0Ab	24,2A	24,5Bab	25,1Aa	23,8Ab	24,4A
	33,2	20,6Bb	20,9Bb	23,2Ba	21,6B	24,5Ba	24,1Ba	22,8Bb	23,8B
	MÉDIAS	22,0c	22,5b	23,2a	22,6	24,8a	24,6a	23,3b	24,2

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 17. Ocorrências (nº e frequência) de superioridades com apoio estatístico, verificadas nos testes de avaliação da qualidade fisiológica, com a fixação das temperaturas nas interações entre fluxo e temperatura do ar insuflado. Ponta Grossa, PR, 1995.

Causa Fixada (Temperatura)	Superioridade	Ocorrências (nº) durante o armazenamento			Frequência (%) das ocorrências no total das 16 possíveis (8 testes x 2 épocas)
		Imediatos (0 mês)	Latentes (6 meses)	Somatório	
42°C	26,9>28,4 m ³ /min/t	2	1	3	18,75
	26,9>33,2 m ³ /min/t	2	1	3	18,75
	28,4>26,9 m ³ /min/t	0	3	3	18,75
	28,4>33,2 m ³ /min/t	0	1	1	6,25
	33,2>26,9 m ³ /min/t	3	3	6	37,50
	33,2>28,4 m ³ /min/t	2	1	3	18,75
46°C	26,9>28,4 m ³ /min/t	3	3	6	37,50
	26,9>33,2 m ³ /min/t	2	3	5	31,25
	28,4>26,9 m ³ /min/t	2	0	2	12,50
	28,4>33,2 m ³ /min/t	2	2	4	25,00
	33,2>26,9 m ³ /min/t	2	1	3	18,75
	33,2>28,4 m ³ /min/t	4	3	7	43,75
50°C	26,9>28,4 m ³ /min/t	2	2	4	25,00
	26,9>33,2 m ³ /min/t	6	8	14	87,50
	28,4>26,9 m ³ /min/t	2	0	2	12,50
	28,4>33,2 m ³ /min/t	8	7	15	93,75
	33,2>26,9 m ³ /min/t	2	0	2	12,50
	33,2>28,4 m ³ /min/t	0	0	0	0,00

Tabela 18. Ocorrências (nº e frequência) de superioridades com apoio estatístico, verificadas nos testes de avaliação da qualidade fisiológica, com a fixação dos fluxos nas interações entre fluxo e temperatura do ar insuflado. Ponta Grossa, PR, 1995.

Causa Fixada (Fluxo)	Superioridade	Ocorrências (nº) durante o armazenamento			Frequência (%) das ocorrências no total das 16 possíveis (8 testes x 2 épocas)
		Imediatos (0 mês)	Latentes (6 meses)	Somatório	
26,9 m ³ /min/t	42°C>46°C	2	0	2	12,50
	42°C>50°C	2	2	4	25,00
	46°C>42°C	3	2	5	31,25
	46°C>50°C	2	2	4	25,00
	50°C>42°C	2	4	6	37,50
	50°C>46°C	0	1	1	6,25
28,4 m ³ /min/t	42°C>46°C	2	4	6	37,50
	42°C>50°C	0	1	1	6,25
	46°C>42°C	2	0	2	12,50
	46°C>50°C	1	1	2	12,50
	50°C>42°C	2	0	2	12,50
	50°C>46°C	4	2	6	37,50
33,2 m ³ /min/t	42°C>46°C	0	3	3	18,75
	42°C>50°C	6	8	14	87,50
	46°C>42°C	0	1	1	6,25
	46°C>50°C	6	7	13	81,25
	50°C>42°C	2	0	2	12,50
	50°C>46°C	2	0	2	12,50

Quando fixada a temperatura de 50 °C (Tabela 17), os fluxos de 26,9 e de 28,4 m³/min/t superaram o de 33,2 m³/min/t, respectivamente, em 87,5 % e 93,75 % dos casos. Nas demais temperaturas, as frequências das

superioridades foram menores do que 50 % e, dessa forma, não evidenciaram diferenças entre os efeitos dos fluxos sobre a qualidade das sementes.

Fixando o fluxo de $33,2 \text{ m}^3/\text{min/t}$ (Tabela 18), as temperaturas de 42 e 46 °C superaram a de 50 °C, respectivamente, em 87,5% e 81,25 % dos casos. Nos outros fluxos, as freqüências das superioridades foram inferiores a 50 % e, dessa maneira, não destacaram diferenças entre as interferências das temperaturas sobre o desempenho das sementes.

Assim, os usos associados, dos menores fluxos (26,9 e 28,4 $\text{m}^3/\text{min/t}$) com a maior temperatura (50°C) e das menores temperaturas (42 e 46°C) com o maior fluxo (33,2 $\text{m}^3/\text{min/t}$), atenuaram a deterioração decorrente da operação de secagem; paralelamente, indicaram que os efeitos positivos das elevações no fluxo foram favorecidos com as reduções de temperatura e vice-versa.

4.3. Considerações gerais

Os dados de velocidade de secagem, confirmados pelas curvas obtidas para a perda de água, indicaram vantagens físicas operacionais na situação em que foram aplicados a temperatura e o fluxo intermediários (46°C e 28,4 $\text{m}^3/\text{min/t}$) no ar insuflado. Por outro lado, sob o aspecto de manutenção da qualidade fisiológica, as combinações, dos menores fluxos

(26,9 e 28,4 m³/min/t) com a maior temperatura (50°C) e das menores temperaturas (42 e 46°C) com o maior fluxo (33,2 m³/min/t), foram as mais vantajosas; dentre essas, levando em conta os aspectos físico-operacionais, a associação de 28,4 m³/min/t com 50°C foi a mais eficiente na retirada de água das sementes.

A interdependência na ação de fluxos e de temperaturas do ar insuflado, no que se relaciona às conseqüências físicas e fisiológicas impostas às sementes submetidas à secagem, é assunto pouco esclarecido pela literatura para embasar as recomendações tecnológicas que, dessa maneira, são formuladas com tendências de unilateralidade em sua base de sustentação. Os resultados obtidos ressaltam a importância da consideração do conjunto de fatores intervenientes no processo em estudos sobre o assunto.

5. CONCLUSÃO

Admitindo os intervalos de 26,9 a 33,2 m³/min/t, para o fluxo, e de 42 a 50°C, para a temperatura do ar insuflado radialmente durante a secagem das sementes de soja em silos, conclui-se que a elevação na temperatura demanda redução no fluxo e, inversamente, o aumento no fluxo demanda redução na temperatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, L.C. Transporte de água em grãos de feijão preto sob condições de secagem e repouso. Viçosa, 1979. 58p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- ANDRIGUETO, J.R.; POPINIGIS, F.; SILVA, J.G.C. Efeitos do retardamento da secagem das sementes do trigo (*Triticum aestivum* L.) sobre sua qualidade fisiológica. **Semente**, v.2, n.2, p.65-73, 1976.
- AGRO SCIENCES. The automatic seed analyzers. **Instruction Manual**. Michigan, 1979. 32 p.
- BAKER, K.D.; PAULSEN, M.R.; ZWEDEN, J.V. Hybrid and drying rate effects on seed corn viability. **Transactions of the ASAE**, v.34, n.2, p.499-506, 1991.

BIAGI, J.D.; SILVA, I.J.O. Software para determinar as propriedades psicrométricas do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19, Piracicaba, 1990. **Anais**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1990. p.1161-1175.

BIAGI, J.D.; VALENTINI, S.R.; QUEIROZ, D.M. Secagem de produtos agrícolas. In: MAGALHÃES, P.S.G.; CORTES, L.A.B. (Coord.). **Introdução à engenharia agrícola**. Campinas: UNICAMP, 1992. cap. 3, p.245-266.

BOUNOUS, E.B. Comparação de métodos de secagem em sementes de azevém anual (*Lolium multiflorum* L.). Pelotas, 1986. 109p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas.

BOYD, A.H. Heated air drying of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seed. Mississippi, 1974. 90p. Thesis (Ph.D.) - Mississippi State University.

BOYD, A.H.; MATTHES, R.K.; WELCH, G.B. **Heated air drying of soybean seed**. Mississippi: Mississippi State University, 1974. 17p. (MAFES Journal, 2840).

BOYD, A.H.; WELCH, G.B.; BASKIN, C.C. **Some thoughts on seed drying**. Mississippi: Mississippi State University, s.d. 2p.

BRANDENBURG, N.R.; SIMONS, J.W.; SMITH, L.L. Why and how seeds are dried. Separata de **Yearbook of Agriculture-1961**, p.295-306, 1961.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992. 365p.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying cereal grains**. Westport: AVI Pub. 1974. 265p.

CABELLO, S.D. Importância, procedimentos y aspectos praticos en el secado de semillas. In: ACTUALIZACION SOBRE TECNOLOGIA DE SEMILLAS, México, 1982. **Memoriais**. México: Universidad Agraria Antonio Narro, 1982. p. 37-46.

CARVALHO, N.M. **A secagem de sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 165p.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 3.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 424p.

CAVARIANI, C. Efeitos da secagem intermitente sobre a qualidade das sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Pelotas, 1983. 128p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas.

CAVARIANI, C. Efeitos da secagem estacionária com distribuição radial do fluxo de ar. Piracicaba, 1996. 85 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

CAVARIANI, C.; BAUDET, L.M.L. Secagem de sementes. **Informe Agropecuário**, v.8, n.91, p.44-49, 1982.

CERQUEIRA, W.P. Retardamento da secagem de semente de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.4, n.2, p.56-63, 1979.

CHEN, Y.; BURRIS, J.S. Role of carbohydrates in desiccation tolerance and membrane behavior in maturing maize seed. **Crop Science**, v.30, p.971-975, 1990.

CHEN, Y.; BURRIS, J.S. Desiccation tolerance in maturing maize seed: membrane phospholipid composition and thermal properties. **Crop Science**, v.30, p.766-770, 1991.

CLASER, C.A. Efeito da temperatura e da umidade relativa do ar de secagem na germinação de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Viçosa, 1995. 32p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

CORRÊA, C.F. Secagem de sementes de arroz (*Oryza sativa* L.) em silo secador com distribuição radial de ar. Pelotas, 1981. 85p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas.

DALPASQUALLE, V.A.; QUEIROZ, D.M.; PEREIRA, J.A.M.; SINÍCIO, R. **Secagem de grãos em altas temperaturas**. Viçosa: CENTREINAR, 1987. 47p.

DANIELL, J.W.; CHAPPELL, W.E.; COUCH, H.B. Effect of sublethal and lethal temperatures on plant cells. **Plant Physiology**, v.44, p.1684-1689, 1969.

DIAS, D.C.F.dos S. Testes de condutividade elétrica e de lixiviação de potássio para avaliação do vigor de sementes de soja. Piracicaba, 1994. 136p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

FORTES, M.; OKOS, M. R. Changes in physical properties of corn during drying. **Transacions of the ASAE**, v.23, n.4, p.1004-1008, 1980.

FOSTER, C.H. Heated air grain drying. In: SINHA, R.H.; MUIR, W.E. (Ed.).

Grain storage: part of a system. Westport:AVI Publ. 1973. p.185-223.

FRANÇA NETO, J.B. Qualidade fisiológica de sementes de soja. In: FRANÇA

NETO, J.B.; HENNING, A.A. **Qualidades fisiológica e sanitária de sementes de soja.** Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 1984. p.1-24.

(EMBRAPA, CNPSo. Circular Técnica, 9).

FRANÇA NETO, J.B.; PEREIRA, L.A.G.; COSTA, N.P.; KRZYZANOWSKI, F.C.;

HENNING, A.A. Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja.

Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 1988. 60p. (EMBRAPA, CNPSo. Documentos, 32).

GONZALES, J.C.; PESKE, S.T.; BAUDET, L.M.; SILVA, J.B. Efeitos do

retardamento da secagem de sementes de arroz Bluebelle sobre sua qualidade. **Tecnologia de Sementes**, v.2, n.2, p.27-33, 1979.

GUNASEKARAN, S.; PAULSEN, M.R. Breakage resistance of corn as a function of drying rates. **Transactions of the ASAE**, v.28, n.6, p.2071-

2076, 1985.

GUSTAFSON, R.J.; MOREY, R.V. Study of factors affecting quality changes during high-temperature drying. **Transactions of the ASAE**, v.22, n.4, p.926-932, 1979.

GUSTAFSON, R.J.; MOREY, R.V.; CHRISTENSEN, C.M.; MERONUCK, R.A. Quality changes during high-low temperature drying. **Transactions of the ASAE**, v.21, n.1, p.161-169, 1978.

HALL, C.W. **Drying and storage of agricultural crops**. Westport: AVI Publ. 1980. 382p.

HARRINGTON, J.F. Seed storage and longevity. In: KOZLOWSKI, T.T. **Seed biology**. New York: Academic Press, 1972. v.3, p.145-245.

HERTER, U.; BURRIS, J.S. Changes in moisture, temperature, and quality of corn seed during high-temperature drying. **Canadian Journal of Plant Science**, v.69, n.3, p.749-761, 1989a.

HERTER, U.; BURRIS, J.S. Effect of drying rate and temperature on drying injury of corn seed. **Canadian Journal of Plant Science**, v.69, n.3, p.763-774, 1989b.

HERTER, U.; BURRIS, J.S. Evaluating drying injury on corn seed with a conductivity test. **Seed Science and Technology**, v.17, p.625-638, 1989c.

JUSTICE, O.L.; BASS, L.N. **Principles and practices of seed storage**. London, Castle House, 1979. 289p.

KOSTER, K.L.; LEOPOLD, A.C. Sugars and desiccation tolerance in seeds. **Plant Physiology**, v.88, p.829-832, 1988.

KREYGER, J. Practical observations on the drying of seed. **Seed Science and Technology**, v.1, p.645-670, 1973.

LASSERAN, J.C. Princípios gerais de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.3, n.3, p.17-45, 1978.

LASSERAN, J.C. Características técnicas dos secadores. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.4, n.2, p.4-14, 1979.

LUZ, C.A.S. Secagem de sementes de arroz em secador intermitente lento. Pelotas, 1986. 103 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas.

MACÊDO, G.A.R.; MARQUES NETO, J.; BATISTA, J.S. Secagem à sombra e ao sol de sementes de gramíneas forrageiras. **Revista Brasileira de Sementes**, v.9, n.3, p.29-37, 1987.

MADDEN, R.F. Early germination physiology in hybrid maize (*Zea mays* L.) embryos damaged by high-temperature desiccation. **Dissertation Abstracts International**. Series B, v.52, n.11, p.5614, 1992.

MAGALHÃES, P.M.; GROTH, D. Efeitos de diversos processos de secagem sobre a qualidade fisiológica de sementes de *Brachiaria humidicola*. **Revista Brasileira de Sementes**, v.14, n.2, p.195-200, 1992.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. (Coord.) **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p.133-149.

MATTHES, R.K.; RUSHING, K.W. Seed drying and conditioning. In: SHORT COURSE FOR SEEDSMEN, Mississippi State, 1972. **Proceedings**. Mississippi: Mississippi State University, 1972. p.23-37.

McLEAN, K.A. **Drying and combinable crops**. Ipswich: Farming, 1980. 280p.

MEIER, J.L. A survey of genotype susceptibility to drying injury in maize seeds. **Iowa Seed Science**, v.5, n.1, p.4-5, 1983.

MIRANDA, T.R. Secagem intermitente lenta de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Pelotas, 1978. 93p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas

MOORE, R.P. Effects of mechanical injuries on viability. In: ROBERTS, E. H. **Viability of seeds**. London: Chapman and Hall, 1974. p.94-113.

NAVRATIL, R.J.; BURRIS, J.S. The effect of drying temperature on corn seed quality. **Canadian Journal of Plant Science**, v.64, p.487-496, 1984.

PAULA, D.B. Drying. In: ARAULLO, D.B. et al. (Ed.). Rice, postharvest technology. Ottawa, International Development Research Center, 1976. p.104-128.

PASIN, N.H. Secagem estática de sementes de soja. **Informativo da Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes**, v.2, n.1, p.33-39, 1991.

PESKE, S.T.; AGUIRRE, R. **Manual para operadores de beneficio de semillas (UBS)**. Cali: CIAT, 1987. 117p.

PESKE, S.T.; BAUDET, L.M. **Considerações sobre secagem de sementes**. Viçosa: CENTREINAR, 1980. 19p.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da Semente**. Brasília, AGIPLAN, 1977. 289p.

ROA, G.; VILLA, L.G. **Secagem e armazenamento de grãos e sementes em silos mediante a utilização de ar ambiente e com auxílio de coletores solares**. Campinas: UNICAMP, 1977. 51p.

RANGEL, M.A.S. **Secagem estacionária de sementes de arroz com ar ambiente**. Pelotas, 1994. 80p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas.

ROBERTS, E.H. Storage environment and the control of viability. In: ROBERTS, E.H. (Ed.) **Viability of seeds**. Syracuse: Syracuse University Press, 1972. cap. 2, p.14-58.

ROBERTS, E.H. Physiology of ageing and its application to drying and storage. **Seed Science and Technology**, v.9, p.379-372, 1981.

ROSA, O.S. Temperaturas recomendadas para a secagem de sementes de trigo e arroz utilizando o método intermitente. In: SEMINÁRIO PANAMERICANO DE SEMENTES, 5., Maracay, 1966. s.ed., 1966. p.1-28.

ROSA, O.S. Limpeza, classificação, secagem, tratamento, embalagem e armazenamento de sementes. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE SEMENTES, 2., Pelotas, 1968. **Anais**. Pelotas: UFPel, 1968. p.111-112.

SAS Institute Inc. **SAS user's guide: statistics**.5. Cary, 1985. 956 p.

SEYEDIN, N.; BURRIS, J.S.; FLYNN, T.E. Physiological studies on the effects of drying temperatures on corn seed quality. **Canadian Journal of Plant Science**, v.64, p.497-504, 1984.

SHEDD, C.K. Resistance of grains and seed to air flow. **Agricultural Engineering**, v.34, p.616-619, 1953.

SILVA, J.S.; LACERDA FILHO, A.F.; DALPASQUALE, V.A. Métodos de secagem e secadores. **Informe Agropecuário**, v.9, n.99, p.3-5, 1983.

- SILVA, W.R. Secagem das sementes. In: CÍCERO, S.M.; MARCOS FILHO, J.; SILVA, W.R. (Org.). **Atualização em produção de sementes**. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.155-182.
- SOAVE, J.; MORAES, S.A. Medidas de controle das doenças transmitidas por sementes. In: SOAVE, J.; WETZEL, M.M.V.S. **Patologia de sementes**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.192-259.
- TOLEDO, F. F. de; MARCOS FILHO, J. **Manual das sementes: tecnologia da produção**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1977. 224p.
- VEGA, C.R. Efeito do método de secagem sobre a qualidade das sementes de arroz (*Oryza sativa* L.). Pelotas, 1989. 123p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas.
- VERTUCCI, C.W. Predicting the optimum storage conditions for seeds using thermodynamic principles. **Journal of Seed Tecnology**, v.17, n.2, p 41-53, 1993.
- VILLA, G. L.; ROA, G. **Secagem e armazenamento de soja industrial e sementes a granel**. Campinas: Fundação Cargill, 1979. 64p.

VILLELA, F.A. Efeitos da secagem intermitente sobre a qualidade de sementes de milho. Piracicaba, 1991. 104p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

WELCH, J.B. Articles on seed drying. Separata de **Seedmen's Digest**, p.1-15, 1967.

WESTERMAN, P.W.; WHITE, G.M.; ROSS, I.J. Relative humidity effect on the high-temperature drying of shelled corn. **Transactions of the ASAE**, v.16, n. 6, p.1136-1139, 1973.

WETZEL, M.M.V.S. Fungos de armazenamento. In: SOAVE, J.; WETZEL, M.M.V.S. **Patologia de sementes**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.260-275.

ZIMMER, G.J. Seca-aeração para sementes de arroz. Pelotas, 1989. 70 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas.