

3. pl.

AR NATURAL E BOMBA DE CALOR NA SECAGEM
E ARMAZENAMENTO DE SEMENTES DE SOJA

SILVIO JOSÉ ROSSI

tese apresentada para
obtenção do título de mestre
em engenharia de alimentos

Professor orientador:

DR. JOSÉ LUIZ VASCONCELLOS DA ROCHA

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS E AGRÍCOLA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

1980

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

aos meus pais e irmãos

aos companheiros Dagoberto e Dario

Paraíba (UFPb), pelas facilidades oferecidas durante a fase final da elaboração do presente trabalho.

- Ao Prof. Gonzalo Roa, pela iniciação nas atividades de pesquisa e pela orientação inicial do presente trabalho.
- Ao Prof. José Luiz Vasconcellos da Rocha, pela acolhida e apoio numa difícil fase do transcurso do trabalho.
- À técnica Margareth Bertini (CATI) pela inestimável ajuda nas análises das sementes.
- Ao Prof. João Alberto Meyer, como Coordenador do Grupo de Energia da UNICAMP e pelos incentivos iniciais.

CONTEÚDO

	<u>página</u>
Índice dos Quadros	i
Índice das Figuras	v
Resumo	ix
Abstract	xi
 I. Introdução	 1
II. Objetivos	7
III. Revisão Bibliográfica	9
3.1 - Características da soja	9
3.1.1. Classificação botânica e estrutura do grão	9
3.1.2. Composição química e valor nutritivo ...	10
3.2 - A soja no cenário econômico nacional e interna - cional	 13
3.2.1. Produção e produtividade mundiais	13
3.2.2. Situação interna	16
3.2.2.1, Produção	16
3.2.2.2. Exportação	19
3.3 - Critérios adotados para a qualificação de semen- tes	 20
3.3.1, Germinação	21
3.3.2, Vigor	24
3.4 - Queda da qualidade fisiológica	28

3.4.1.	Processo de senescência e alterações observadas na semente	28
3.4.2.	Durante a permanência na planta, antes da colheita	32
3.4.3.	Durante a colheita e o manuseio ...	37
3.4.4.	Durante a secagem	44
3.4.4.1.	Exposição a altas temperaturas em camadas espessas	44
3.4.4.2.	Secagem em silo em camadas grossas	50
3.4.5.	Durante o armazenamento	58
3.5 -	Objetivos e operação do sistema de aeração..	68
3.6 -	Secagem de grãos em silos com bomba de calor	73
IV.	Materiais e Métodos	81
4.1 -	Calibração dos elementos e aparelhos de medição	81
4.1.1.	Orifício	81
4.1.2.	Higrotermôgrafos	82
4.1.3.	Determinador de umidade de grãos ...	83
4.2 -	Dimensionamento e escolha da bomba de calor..	83
4.3 -	Instalação e testes de desempenho da bomba de calor	86
4.4 -	Secagem com ar natural	90
4.5 -	Armazenamento	91
4.6 -	Secagem com ar natural complementado com a bomba de calor	95
4.7 -	Testes de germinação e de vigor das sementes	96
4.8 -	Avaliação do custo anual e análise de investimento do processo da secagem e armazenamento	

em silos com a bomba de calor	97 .
V. Resultados e discussão	101
5.1 - Curva de calibração do orifício	101
5.2 - Dimensionamento e escolha da bomba de calor	101
5.3 - Testes de desempenho da bomba de calor	104
5.4 - Secagem com ar natural	112
5.5 - Secagem com ar natural complementado com a bomba de calor	116
5.6 - Germinação e vigor das sementes antes e após as operações de secagem	120
5.7 - Armazenamento	123
5.8 - Custo anual e análise de investimento do <u>pro</u> cesso da secagem e armazenamento de sementes de soja em silo com a bomba de calor	133
VI. Conclusões	140
VII. Recomendações para trabalhos futuros	143
VIII. Bibliografia	145
Anexos	157

ÍNDICE DOS QUADROS

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
1.	Composição relativa dos diversos aminoácidos encontrados no grão de soja	11
2.	Produção brasileira de alguns dos principais grãos, desde 1972/1973 até 1978/1979	17
3.	Exportação brasileira de soja em grãos e seus derivados entre 1974 e 1978	20
4.	Comparação entre a emergência de 94 lotes de sementes de soja obtida em testes de laboratório e quando semeadas no campo	25
5.	Comparação da germinação entre 5 lotes de sementes de soja armazenadas 24 meses ao ambiente	26
6.	Máximos coeficientes de correlação na previsão do potencial de armazenamento ao ambiente (Michigan, USA) de sementes de soja pelo teste de envelhecimento acelerado	27
7.	Tempo de exposição de sementes de soja, variedade Santa Rosa, a $43^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e 100% de umidade relativa no teste de envelhecimento acelerado, para prever seu potencial de armazenamento, e máximos coeficientes de correlação simples obtidos	28

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
8.	Efeito no conteúdo de umidade e germinação de sementes de soja durante a permanência no campo, após a maturidade fisiológica e sob sucessivas secagens e reumidificações	34
9.	Germinação e incidência de microorganismos em sementes de soja com relação ao retardamento da colheita	36
10.	Influência da velocidade do cilindro da colhedeira na porcentagem de sementes de soja com tegumentos fraturados	39
11.	Efeito na germinação de sementes de soja, variedade Forrest, a diferentes graus de injúria mecânica no tegumento	40
12.	Efeito da velocidade de um elevador de canecas na queda imediata e latente da germinação e vigor de sementes de soja a 13,8% de umidade	44
13.	Influência da secagem na germinação de sementes de soja, variedade Santa Rosa, após a operação e após 2 meses de armazenamento a 3 diferentes temperaturas	50
14.	Influência da temperatura e teor de umidade na germinação de sementes de soja durante o armazenamento	60
15.	Efeito do conteúdo de umidade na taxa respiratória e na germinação de sementes de soja mantidas a 37,8°C	61
16.	Influência do teor de umidade e temperatura na invasão de fungos em sementes de soja durante o armazenamento	63

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
17.	Parâmetros do comportamento dos sistemas de bomba de calor e de resistências elétricas na secagem de 100 toneladas de milho desde 23 até 14% de umidade.....	80
18.	Resultados experimentais obtidos em 11 testes efetuados com a bomba de calor	105
19.	Entalpia do refrigerante nas diversas posições da bomba de calor e volume específico à entrada do compressor	106
20.	Comportamento dos elementos constituintes da bomba de calor, pelo lado do refrigerante, nos 10 testes efetuados com o equipamento	108
21.	Comportamento da bomba de calor, pelo lado do ar, nos 10 testes efetuados com o equipamento.,	109
22.	Eficiência de compressão do sistema motor-transmissão-compressor, nos 10 testes realizado com a bomba de calor	111
23.	Resultados de germinação e vigor das sementes de soja antes e após a secagem com ar natural ..	121
24.	Resultados de germinação das sementes de soja antes e após a secagem complementada com a bomba de calor (silo C)	122
25.	Germinação das sementes de soja mantidas durante 17 meses sob os 3 sistemas de armazenamento	129
26.	Vigor das sementes de soja durante os 6 primeiros meses de armazenamento	131
27.	Vigor das sementes de soja desde o 8º até o	

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
	16º mês de armazenamento	131
28.	Resultados do dimensionamento e custo dos equipamentos envolvidos na secagem e armazenamento de 6, 12 e 18 ton. de sementes de soja em silo com bomba de calor	135
29.	Consumo de energia elétrica dos motores envolvidos nos processos de secagem e armazenamento de 6, 12 e 18 toneladas de sementes de soja	136
30.	Custo anual dos processos da secagem e armazenamento de 6, 12 e 18 toneladas de sementes de soja com bomba de calor	136
31.	Valor atual/capital investido e ponto de equilíbrio do processo de secagem e armazenamento de sementes de soja em silo com bomba de calor.....	139

ÍNDICE DE FIGURAS

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
1.	Esquema de um grão de soja, mostrando as diversas partes constituintes	10
2.	Principais países produtores de soja em grãos nos últimos 10 anos	15
3.	Principais estados brasileiros produtores de soja em grãos nos últimos 11 anos	18
4.	Desenvolvimento da plântula de soja durante o teste de germinação	23
5.	Queda da qualidade fisiológica de um lote de sementes	30
6.	Efeito da altura da queda, superfícies de impacto e teor de umidade na incidência de grãos quebrados	42
7.	Influência da temperatura de secagem na germinação de sementes de soja durante 6 meses de armazenamento, sob 3 diferentes temperaturas	47
8.	Curvas de teor de umidade de equilíbrio para sementes de soja, variedade Santa Rosa	53
9.	Vazões mínimas de ar na secagem de sementes de soja em silo	56

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
10.	Tempo de secagem em função da temperatura do ar e do teor de umidade das sementes de soja	56
11.	Influência da temperatura, período de exposição e teor de umidade na germinação de sementes de soja	62
12.	Queda de germinação e ocorrência de <u>B. subtilis</u> em semestres de soja armazenadas com 4 diferentes recipientes	67
13.	Correntes de convecção interna ao silo sem <u>aeração</u>	70
14.	Curvas de germinação e umidade de milho armazenado com equipamento frigorífico e sem o <u>equipamento</u>	73
15.	Esquema simplificado da operação de uma bomba de calor	75
16.	Coeficientes de "performance" do sistema como função da relação entre o consumo de energia do motor do ventilador e o consumo de energia do motor do compressor,.....	76
17.	Efeito do fluxo de ar na quantidade de energia elétrica total necessária para a secagem de grãos, com temperatura do ar a 43°C	79
18.	Esquema simplificado da montagem da bomba de <u>calor</u> , indicando os elementos responsáveis pelo fluxo de ar durante os testes de desempenho ...	87
19.	Esquema do quadro elétrico geral do silo B durante a fase do armazenamento	93

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
20.	Silos A e B durante a fase do armazenamento	94
21.	Disposição dos elementos constituintes do sistema de armazenamento do silo B	94
22.	Disposição dos silos B e C durante a secagem e o armazenamento	96
23.	Curva de calibração do orifício,.....	102
24.	Unidade condensadora instalada no local dos experimentos	104
25.	Temperatura e umidade relativa diárias do ar ambiente durante a secagem natural	112
26.	Curvas de secagem de sementes de soja com ar natural (silo A)	114
27.	Curvas de secagem de sementes de soja com ar natural (silo B)	115
28.	Temperatura do ar durante a secagem com ar natural complementado com a bomba de calor	118
29.	Curvas de secagem de sementes de soja com ar natural complementado com a bomba de calor	119
30.	Temperatura média mensal do ar ambiente e das sementes de soja durante o armazenamento em sacas.	125
31.	Umidade relativa média mensal do ar ambiente e teor de umidade das sementes de soja armazenadas nas sacas	125
32.	Temperatura média mensal do ar ambiente e das sementes de soja durante o armazenamento com aeração noturna (silos A e B)	126

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
33.	Umidade relativa média mensal do ar ambiente e teor médio de umidade da soja durante o armazenamento com aeração noturna (silos A e B)	126
34.	Queda da germinação das sementes de soja submetidas aos 3 sistemas de armazenamento	130
35.	Valor atual/capital investido em relação à capacidade de produção, taxas de desconto e vida útil dos equipamentos empregados na secagem e armazenamento de sementes de soja com bomba de calor	138

RESUMO

A queda da qualidade fisiológica de sementes nas diversas fases pelas quais atravessam durante seu pré-processamento pode ser de tal modo expressiva a ponto de comprometer significativamente a produtividade delas esperada.

Sementes de soja mantidas armazenadas durante 8 a 9 meses sob condições ambientais similares às das principais regiões produtoras do estado de São Paulo, sem aeração e com os níveis de teor de umidade atualmente admitidos pela legislação, apresentam substanciais quedas de germinação e de vigor. A qualidade da semente ao final do período de armazenamento é tão mais afetada quanto mais adversas forem as condições de operação utilizadas nas etapas anteriores, notadamente quando submetidas a temperaturas acima de 45°C durante a secagem.

O trabalho fornece os resultados obtidos em experimentos de secagem e armazenamento de sementes de soja, variedade Santa Rosa, em silos metálicos, onde se utilizou ar forçado em condições ambientais e em condições modificadas, através da passagem por uma bomba de calor previamente dimensionada e testada sob diferentes condições de temperatura e umidade relativa ambiente. Empregou-se, também, armazenamento convencional em sacas de 50 Kg, sob condições climáticas da cidade de Campinas, estado de São Paulo.

A secagem com ar natural, à razão de 2,7m³/min. ton., durante 24h/dia, demorou 25 dias para diminuir o teor de umidade de 5,5 ton. de sementes de soja deste 14,5 até 9,9%, mediante um consumo de energia elétrica de 1,37 Kwh/kg de água evaporada. A queda verificada na germinação foi de 98 para 95% e o vigor, inicialmente em

tre 25 e 32%, após a secagem natural caiu para 9%.

A secagem com ar natural dentro do período diário das 06:00 às 22:00 h, à razão de $10\text{m}^3/\text{min. ton.}$, demorou 92 horas para diminuir o teor de umidade de 1,5 ton. de sementes de soja desde 21,2 até 10,8%. O consumo de energia elétrica foi de 0,96 Kwh/kg de água evaporada e a germinação das sementes, inicialmente a 88%, diminuiu para 85%.

As sementes mantidas armazenadas durante 17 meses em silo metálico, recebendo aeração noturna por meio de ar ambiente, inicialmente com 95% de germinação, apresentaram, ao final do período, apenas 32% de germinação. As mantidas nas sacas apresentaram, ao final do mesmo período, apenas 40%, enquanto que as armazenadas em silo metálico, recebendo aeração noturna por meio de ar resfriado pelo evaporador da bomba de calor, mantinham, ainda, 86% de germinação. Os valores finais do vigor, para os três tipos de armazenamento citados foram respectivamente, 5, zero e 85%.

A análise econômica indicou a possibilidade de investir na aquisição da bomba de calor para secar e armazenar sementes de soja com qualquer capacidade de produção acima de 6 ton., quando a taxa de investimento for de 30% ao ano e vida útil dos equipamentos entre 10 e 15 anos. A taxa de investimento de 50% ao ano demonstrou-se que o investimento somente se torna economicamente viável com capacidades de produção superiores a 12 ton. e vida útil dos equipamentos de 15 anos. Entre as situações economicamente viáveis, o ponto de equilíbrio se situou entre o 6º e o 13º ano após o investimento.

ABSTRACT

Air in natural conditions was used to dry 10,7 ton. of Santa Rosa soybean seeds contained into two metallic bins. After drying, one of the bins was, for 17 months storage, aerated during night period with natural air, while the other bin was aerated during the same period with air cooled by a heat pump evaporator. It was also used, for conventional storage, 50 kg bags.

Heat evolving from heat pump condenser was, during night period usage, utilized to warm natural air, which was used to warm natural air, which was employed to dry 1,5 ton. of soybean seeds contained into another metallic bin. Periods in which heat pump was not working natural air was utilized in drying the seeds.

During experimentations several parameters involved in the process were measured, such as: temperature and relative humidity of natural air, temperature and moisture content of the seeds, air flow, electric energy consumption, and germination and vigor of the seeds. It was made an economic study on heat pump utilization for drying and storage of soybean seeds.

I - INTRODUÇÃO

Segundo cálculos da FAO, a população mundial estimada no ano de 1977, em 4,1 bilhões de habitantes foi 25% superior a de 1965. Para o ano 2000, suas estimativas indicam uma população mundial ao redor de 7 bilhões de habitantes.

Diante dessa perspectiva, o aumento da produção de alimentos, principalmente quanto ao suprimento de alimentos protêicos, vem se constituindo num dos grandes desafios a serem enfrentados pela humanidade.

Dentro da gama de produtos consumidos ao natural ou processados industrialmente destacam-se os cereais, as leguminosas e as oleaginosas (genericamente denominados grãos), os quais representam aproximadamente 90% das sementes produzidas para consumo humano, predominando o trigo, milho, arroz, soja e amendoim (99).

Os grãos se constituem num dos principais alimentos fornecedores de proteínas e carboidratos, notadamente para as populações de países mais carentes nutricionalmente, compreendendo de 2/3 a 3/4 da dieta humana em regiões da Ásia e África (1). Sob este aspecto, a soja é apontada como uma das principais fontes de óleo comestível e o resíduo resultante da extração constitui-se numa das mais ricas fontes de proteínas para as indústrias alimentícia e de rações (15).

O consumo mundial das 10 principais oleaginosas foi estimado em 148 milhões de toneladas em 1977/1978 e de 152 milhões de toneladas em 1978/1979, sendo a participação da soja em 52 e 54%, respectivamente (83).

No contexto nacional, a soja foi a exploração agrícola que na última década apresentou maior expansão, constituindo-se num fato sem paralelo na história da agricultura brasileira. A área cultivada, dentro desse período, foi multiplicada por 10, colocando o Brasil, atualmente, entre os três principais produtores e exportadores do complexo soja (soja em grãos, farelo e óleo) (68).

A produção brasileira na safra 1978/1979 foi estimada em 11,2 milhões de toneladas, sendo o Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo e Santa Catarina os principais estados produtores, correspondendo a cada um, respectivamente, 40, 36,3, 7,5 e 4,2% do total produzido no país (83).

A variedade Santa Rosa, selecionada em 1958 no Instituto Agrônomo de Campinas, São Paulo, conforme levantamento feito em 1973 pela Comissão Nacional de Soja, ocupou, respectivamente, nos três principais estados produtores, 35, 33 e 66% da área total cultivada por todas as variedades de soja (60).

Apesar da significância da soja na economia nacional, dados de órgãos governamentais ligados ao setor indicam uma perda, em média, de 10 a 20% da produção brasileira dessa oleaginosa pela utilização inadequada das técnicas de pré-processamento e devido a efeitos climáticos adversos. Esta perda varia de acordo com as variedades empregadas, com as variáveis ambientais, com as regiões geográficas e com as técnicas de colheita, secagem e armazenamento,

podendo ocorrer:

- a) **no campo:** provocada por doenças próprias da planta, insetos, chuvas e outros efeitos climáticos, além das condições de plantio e crescimento da planta (tipo de solo, semente, adubo, irrigação, etc.);
- b) **durante a colheita:** provocada pelo esmagamento dos grãos que caem no solo e pela utilização imprópria do maquinário de colheita;
- c) **durante a secagem:** de acordo com a finalidade a que se destina o grão, condições severas de secagem como altas temperaturas e umidades relativas muito baixas podem comprometer a qualidade do grão;
- d) **durante o armazenamento:** pela deterioração do grão, devido à atividade metabólica de fungos, insetos e do próprio grão, aliada ao ataque de pássaros e roedores.

Assim, paralelamente ao aumento da área cultivada, o incremento na produtividade e a minimização das perdas ocorridas durante o pré-processamento são os pontos principais que devem ser atacados no que diz respeito à otimização da produção.

Um dos fatores que estão diretamente relacionados com a obtenção de uma alta produtividade é a utilização de sementes de boa qualidade fisiológica. A perda da qualidade da semente, medida através de sua capacidade de germinar sob condições de temperatura, umidade e nutrientes do solo, deve ser minimizada, dentro do período compreendido entre a maturação fisiológica e a utilização para o plantio da safra seguinte. Geralmente, para o caso da soja, esse período é de 8 a 9 meses, sendo colhida entre os meses de março a maio, no Brasil, e replantada entre os meses de dezembro do

mesmo ano e janeiro do ano seguinte (60).

Para evitar sua deterioração no campo e reduzir os danos mecânicos que possam sofrer durante a colheita mecanizada, as sementes de soja devem ser colhidas com teores de umidade em torno de 17-18%, base úmida, faixa esta superior àquela que deverão possuir para que possam ser armazenadas* (89). Desta forma, como o conteúdo de umidade recomendado a que devem permanecer as sementes de soja durante o armazenamento está entre 10 a 12%, conforme as condições climáticas do local e do tempo de armazenamento, necessitam sofrer o processo de secagem tão logo sejam colhidas (11, 34).

Embora imprescindível para a conservação da semente, a própria secagem pode comprometer sua qualidade fisiológica. Os secadores industriais contínuos geralmente são projetados para processar grandes quantidades em pouco tempo, utilizando temperaturas que ultrapassam as permitidas na secagem de sementes. Estes têm que ser adaptados para operarem com temperaturas inferiores, reduzindo, desta forma, sua capacidade de secagem, onerando o custo final do produto seco.

Apenas algumas regiões do sul do país, caracterizadas por apresentarem condições meteorológicas tipicamente temperadas, são favoráveis à utilização do armazenamento de sementes de soja em condições ambientais, por períodos de 8 a 9 meses. Outras regiões, seja por apresentarem altas temperaturas e umidades relativas, seja por apresentarem grandes oscilações nessas variáveis, concorrem para que a semente, durante a fase do armazenamento, permaneça com

* - Os teores de umidade do produto serão sempre expressos em termos de base úmida, a não ser que outra base seja mencionada no texto.

teores de umidade tais que sejam desfavoráveis à manutenção de sua qualidade fisiológica.

Assim, a secagem estacionária em silos, utilizando-se ar ambiente ou com pouco aquecimento adicional, quando houver necessidade, constitui-se numa alternativa para a secagem de sementes, especialmente a nível de fazenda. Tal sistema permite utilizar o mesmo silo secador como armazenador, reduzindo investimentos em equipamentos, mão-de-obra e manuseio da semente (102).

Durante a fase do armazenamento, ar ambiente é empregado para o processo de aeração das sementes, objetivando resfriá-las e uniformizar o conteúdo de umidade em toda a massa dos grãos (69).

Nas regiões onde as condições climáticas sejam desfavoráveis à utilização de aeração por meio de ar ambiente, há a necessidade de se armazenar as sementes em condições de temperaturas e/ou umidades relativas mais baixas. Para tanto, a utilização de um equipamento frigorífico para resfriar o ar ambiente a ser utilizado na aeração é uma possibilidade a ser estudada. No aspecto econômico do emprego desse equipamento, leva-se em consideração, ainda, a possibilidade do aproveitamento do calor liberado pelo condensador, sendo este utilizado no aquecimento do ar ambiente. Assim, durante o funcionamento do equipamento frigorífico, o ar ambiente aquecido poderá ser empregado na secagem de novas cargas do produto recém-colhido.

Este trabalho tem como objetivo indicar um procedimento técnico e economicamente viável a ser empregado nas etapas da secagem e do armazenamento de sementes de soja, variedade Santa Rosa, sob as condições climáticas da região de Campinas-SP. Para tanto,

determinar-se-ã, em experimentos a nível piloto, o efeito das condições de operação da secagem e do armazenamento, quando emprega - dos ar natural e bomba de calor, no teor de umidade, temperatura, tempo de exposição, germinação e vigor das sementes de soja, bem como o custo total unitário do processo e a análise econômica a respeito do investimento necessário à aquisição dos equipamentos envolvidos.

II - OBJETIVOS

2.1 - Dimensionar, instalar e avaliar o desempenho de um equipamento frigorífico em função das condições climáticas da região de Campinas-SP e das vazões de ar a serem empregados nos experimentos de secagem e de armazenamento de sementes de soja.

2.2 - Analisar o efeito das condições de operação de dois sistemas de secagem em silos, no teor de umidade, temperatura, germinação e vigor de sementes de soja, variedade Santa Rosa, sendo:

2.2.1. Secagem ininterrupta, utilizando ar ambiente 24 h/dia.

2.2.2. Secagem ininterrupta, utilizando ar ambiante durante o período diurno e ar ambiente aquecido durante o período noturno pelo condensador do equipamento frigorífico.

2.3 - Analisar o efeito das condições de operação de três sistemas de armazenamento no teor de umidade, temperatura, germinação e vigor de sementes de soja, variedade Santa Rosa, sendo:

2.3.1. Armazenamento em silos, a granel, utilizando aeração noturna por meio de ar ambiente.

2.3.2. Armazenamento em silos, a granel, utilizando aeração noturna por meio de ar ambiente resfriado pelo evaporador do equipamento frigorífico.

2.3.3. Armazenamento convencional em sacas de 50 kg.

2.4 - Dentre as alternativas a serem testadas, indicar a que melhor se comporta no que diz respeito à qualidade fisiológica das sementes, bem como analisá-la do ponto de vista do custo do processo e do investimento de capital necessário.

III - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - Características da soja.

3.1.1. Classificação botânica e estrutura do grão.

Botanicamente a soja é uma leguminosa dicotiledonea, pertencente à família Leguminosae, sub família Papilionoideae, tribo Faseolas e ao gênero Glycine L., que compreende cerca de quinze espécies, sendo classificada como Glycine max (L.) Merrill (28, 61).

Esquemáticamente, a Figura 1 mostra um grão de soja, onde são indicadas as diversas partes constituintes da matéria prima (87).

Em geral os grãos maduros são constituídos por três partes básicas: tegumento, embrião e uma ou mais estruturas de reserva de alimento. O grão de soja apresenta somente duas partes: o tegumento e o conjunto formado pelo embrião e pelos dois cotiledones, estes últimos constituindo-se nas estruturas de reserva de alimento do grão. O embrião ainda é subdividido em outras três partes: radícula, hipocótilo e epicótilo. O tegumento contém a chamada ferida do grão, denominada hilum (12, 17, 87).

Os cotiledones, que constituem ao redor de 90% do volume e do peso

da semente, contêm quase todo o óleo e a proteína encontrados no grão de soja (15, 50).

Coppock (15) considera que a proteína é armazenada em corpos esféricos com diâmetros que variam entre 2μ e 20μ , enquanto que o óleo está localizado em estruturas menores, os esferosomas, com diâmetros que variam entre $0,2\mu$ e $0,5\mu$, separados entre si pelos corpos protêicos.

3.1.2. Composição química e valor nutritivo

A composição química dos grãos de soja varia de acordo com as diferentes variedades, localizações geográficas, condições climáticas e técnicas de plantio. Entretanto, em termos médios, vários autores consideram, do peso seco total, um conteúdo protêico de 40%, teor de lipídeos em torno de 22%, 28% de carboidratos, 5% de fibras e 5% de cinzas. O conteúdo de água considerado, em média, é de 8% (25, 42, 47, 89).

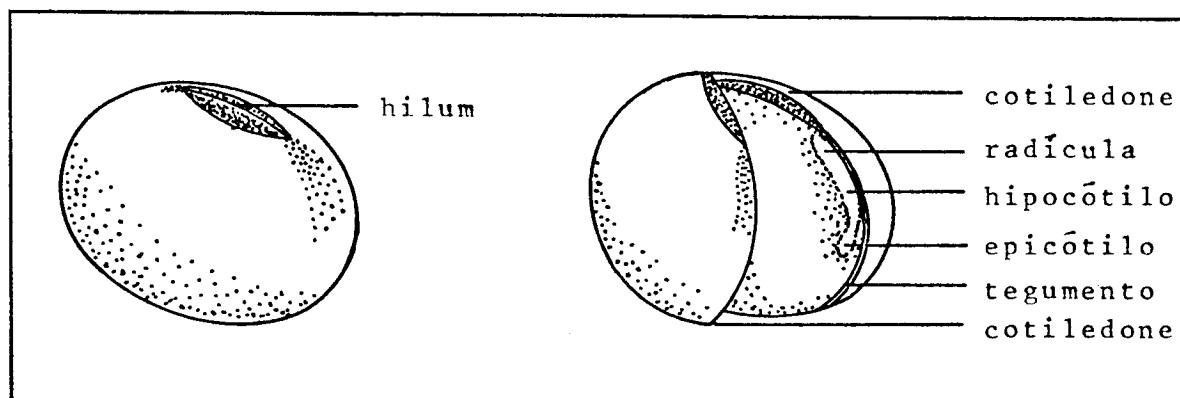


Figura 1. Esquema de um grão de soja, mostrando as diversas partes constituintes.

Fonte: Scott & Aldrich (87).

Segundo Sgarbieri *et alli* (89) a variedade Santa Rosa, colhida na região de Campinas, São Paulo, apresenta a seguinte compo sição média: 36,6% de proteínas; 22,7% de lipídeos; 7,5% de água;

5,3% de cinzas; 5,2% de fibras e 27,9% de carboidratos.

Das proteínas encontradas na soja a 9,5% de umidade, 30% constituem-se de caseína solúvel, 7,5% de caseína insolúvel e 0,5% constitui-se de albumina (25). O Quadro 1 indica a composição relativa dos diversos aminoácidos encontrados no grão de soja.

Quadro 1. Composição relativa dos diversos aminoácidos encontrados no grão de soja

aminoácido	var. Fiskeby ¹ (% do total de a.a.)	var. Santa Rosa ² (g/16g N)
lisina*	7,4	8,4
histidina	2,7	2,4
arginina	7,7	6,5
ác. aspártico	11,7	16,3
treonina*	4,4	4,4
serina	6,4	6,4
ác. glutâmico	18,7	32,5
prolina	5,1	5,5
glicina	4,3	5,0
alanina	4,8	4,9
cistina*	-	1,5
valina*	4,8	5,1
metionina*	1,3	1,3
isoleucina*	4,5	5,1
leucina*	7,9	9,6
tirosina**	3,5	3,5
fenilalanina*	5,1	5,0

1 - Fonte: Hove & Hill (42).

2 - Fonte: Sgarbieri et alli (89).

* - a.a. essencial (47)

* e ** - a.a. essencial (15)

Além dos aminoácidos constantes no Quadro 1, os grãos de soja apresentam, ainda, 1,3 a 1,4% de triptofano, completando, as-

sim, o fornecimento de todos os aminoácidos considerados essenciais ao homem (11), não obstante a pequena quantidade de metionina torná-lo limitante do ponto de vista nutricional (89).

O custo para produção de 1 Kg. de proteína obtida de outros produtos protéicos, comparado com o da farinha integral de soja, obedece às seguintes relações: 37,6 vezes mais caro para a carne bovina; 13,2 para a carne de aves; 3,6 para o leite em pó desnatado e 1,3 vezes mais caro quando obtida da farinha de peixe (9).

Industrialmente, considera-se que o óleo de soja apresenta, em média, 85% de ácidos graxos insaturados (26 a 56% de ácido linolêico, 18,2 a 28,1% de ácido olêico e 2,1 a 9,1% de ácido linolênico), 14,5% de ácidos graxos saturados (8,5 a 12% de ácido palmítico e 1,4 a 4,4% de ácido esteárico) e 0,5% de ácidos graxos livres. Apesar do odor característico de ranço, proveniente da oxidação de seus ácidos graxos insaturados, os altos teores dos ácidos linolêico e olêico, considerados essenciais ao metabolismo humano, tornam o óleo de soja significativamente importante do ponto de vista nutricional (6, 9, 15).

Dos carboidratos existentes, 6 a 11% são açúcares (1,2% de frutose, 3,5 a 6,1% de sacarose, 0,7% de glucose, 0,4 a 1,0% de rafinose e 1,2 a 2,3% de estaquiose) e 20 a 25% são polissacarídeos (10% de dextrina, 6% de celulose e 4% de amido) (9, 25, 44, 53).

Hymovitz & Collins (44) e Man *et alli* (53) consideram a associação existente entre a rafinose e a estaquiose com a flatulência promovida pelo grão de soja, uma vez que esses dois açúcares não são fermentados no organismo humano, pela falta da enzima α -galactosidade.

Com respeito à composição das cinzas, de um total de 5,1% em peso, encontradas em 16 variedades brasileiras de soja, 31% constituiu-se de ácido fosfórico; 45% de potassa, 8% de magnésia; 7% de cal; 3% de ácido sulfúrico; 1% de ácido carbônico; 4% de cloro, sódio e ferro e 1% de insolúveis (25).

Dentre 13 diferentes vitaminas encontradas em grãos de soja, Kellor (47), destaca as presenças de niacina, vitamina B6, ácido pantotênico e tiamina.

Dentre os fatores ativos presentes no grão de soja nutricionalmente importantes para o homem, dois são considerados os mais significativos: Fator anti-tripsina e fator hemaglutinante (71). O primeiro inibe a tripsina do pâncreas do homem, dificultando a digestão da soja, enquanto que o segundo causa mudanças fisiológicas nas células dos intestinos com as quais ele interage. Os autores comentam que ambos os fatores são facilmente destruídos pelo calor, cuja destruição é acompanhada por um marcante aumento no valor nutritivo da proteína da soja.

3.2 - A soja no cenário econômico nacional e internacional

3.2.1. Produção e produtividade mundiais

Conforme estimativas da Oil World Weekly, citadas por Rocha (83), a disponibilidade mundial de oleaginosas em 1978/1979 foi de 154 milhões de toneladas, 23% maior do que a do período 1974/1975/. Nos dois últimos períodos, o incremento verificado foi de 5,1%. Demonstrando um relativo equilíbrio entre a oferta e a demanda nos últimos dois períodos, o consumo mundial de oleaginosas

em 1978/1979 foi de 152 milhões de toneladas, 5,1% maior que o verificado no período anterior.

O constante aumento ocorrido na produção mundial de oleaginosas decorreu, principalmente, do acréscimo verificado na produção de soja, em particular nos Estados Unidos, os quais produziram 50,2 milhões de toneladas em 1978/1979, com uma elevação de 4,6% em relação a 1977/1978 e de aproximadamente 50% em relação ao período 1974/1975. Ainda segundo estimativas da Oil World Weekly, citadas por Rocha (83), o consumo mundial de soja em 1978/1979 deverá ser da ordem de 82 milhões de toneladas (54% do consumo total das oleaginosas), 6,1% maior que o verificado em 1977/1978, período este em que a soja participou com 52% do consumo total de oleaginosas.

Conforme a Figura 2, a partir do início da década de 1970 até o período 1974/1975, o Brasil ocupou o 3º lugar na produção mundial de soja em grãos, ao lado da China (2º lugar) e Estados Unidos (1º lugar). Com as safras de 1975/1976 e 1976/1977 o Brasil passou a ocupar o 2º lugar. Como resultado das estiagens sofridas pelos principais estados produtores, notadamente Rio Grande do Sul e Paraná, durante as safras de 1977/1978 e 1978/1979, neste período o Brasil voltou a ocupar a posição de 3º produtor mundial de soja, sendo novamente ultrapassado na China (29, 30, 31, 61).

Dados disponíveis a respeito da produção mundial de soja em 1978/1979, indicam uma participação de 61% dos Estados Unidos, 15% da China e 14% do Brasil. Ressalta-se, ainda, o aumento percentual da Argentina, passando de 3,5% em 1977/1978 para 4,2% em 1978/1979 (83).

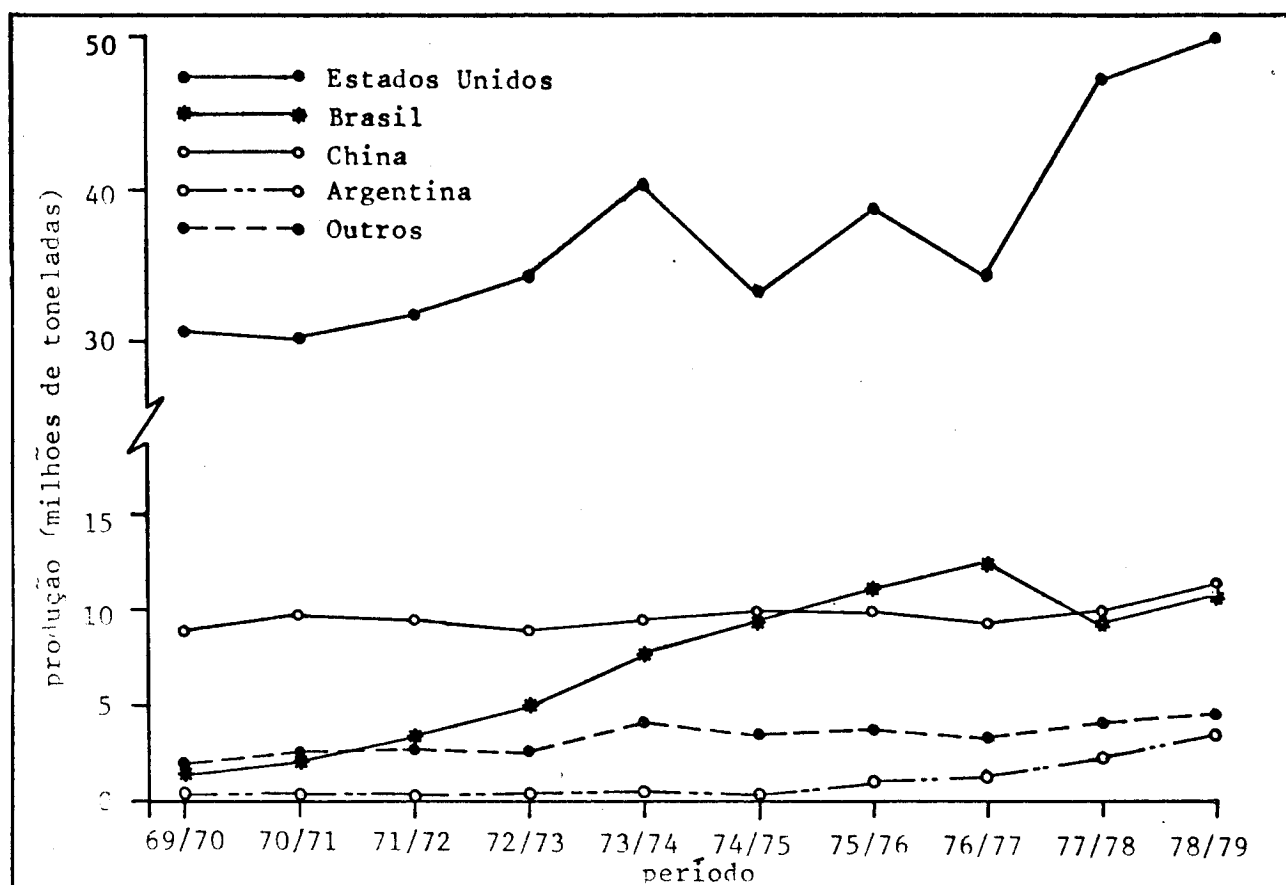


Figura 2. Principais países produtores de soja em grão nos últimos 10 anos.

Fontes: Governo do Estado de São Paulo. *Secretaria da Agricultura*, IEA (29, 30, 31). Miyasaka (61).

Em 1970, a participação dos Estados Unidos no total mundial da área plantada em soja era de 46% contra 39% da China e 3% do Brasil. Em 1975 esses percentuais foram 47% para os Estados Unidos, 31% para a China e 12% para o Brasil. Enquanto em 1977 os Estados Unidos permaneceram com 47% da área total, o Brasil aumentou sua participação para 14% em detrimento da diminuição da China de 31 para 29%. O acréscimo percentual mundial na área cultivada no período 1970/1977 foi de 41%, com uma taxa média anual de crescimento da ordem de 5%, cabendo destaque ao Brasil, com uma taxa anual de crescimento de 28%, enquanto que a da China praticamente permaneceu estacionária e a dos Estados Unidos foi de 4,5% (68).

O confronto entre a produção e área cultivada mostra que está havendo uma melhoria nos níveis de produtividade mundial, hoje ao redor de 1.500 Kg/ha, quando no início da década de 1970 estava em torno de 1.300 Kg/ha. Dentre os principais países produtores, os Estados Unidos apresentam os melhores índices (1.900 Kg/ha) e a China os menores (890 Kg/ha). Brasil, México, Argentina e Paraguai registram produtividades inferiores à estadunidense, porém em contínua ascensão nos últimos anos. O Canadá, apesar de não estar entre os principais países produtores de soja, tem apresentado, de longa data, produtividades da ordem de 2.000 Kg/ha (68).

3.2.2. Situação interna

3.2.2.1 - Produção

Entre os períodos 1972/1973 e 1978/1979, indiscutivelmente a soja foi a que apresentou o maior crescimento em termos da produção brasileira, dentre os principais grãos aqui produzidos (Quadro 2). Constituiu de 15% da produção total desses grãos em 1972/1973, apresentou crescimentos relativos cada vez maiores dentro do período considerado e, atualmente, constitui ao redor de 25% da produção total brasileira. É o segundo produto da pauta de produção agrícola interna, superado apenas pelo milho.

Quadro 2. Produção brasileira de alguns dos principais grãos, desde 1972/1973 até 1978/1979

(1.000 toneladas)							
produto	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79
amendoim em casca	590	453	442	510	321	325	—
arroz em casca	7160	6764	7782	9757	8994	7243	7592
cacau em amendoas	196	165	282	232	250	245	—
café em cocos	1746	3231	2545	752	1951	2401	—
feijão	2232	2238	2282	1840	2290	2188	2180
milho	14186	16273	16335	17751	19256	13533	16327
soja	5012	7877	9893	11227	12513	9535	11200
sorgo granífero	249	243	202	277	435	—	—
trigo	2031	2859	1788	3216	2066	2667	2140

Fonte: Brasil. Ministério da Agricultura, IBGE (10).

Dentre os principais estados produtores de soja destacam-se, de longa data, Rio Grande do Sul e Paraná (Figura 3). Observa-se que, no início da década de 1970, aproximadamente 95% da produção nacional concentrou-se nesses dois estados, ao passo que em 1978/1979 sua participação caiu para 76%. Rio Grande do Sul manteve-se como o principal estado produtor de soja até 1977/1978, quando atingiu 48% do total nacional, contra 33% do Paraná. Na safra de 1978/1979 observou-se uma inversão na posição entre esses dois estados, participando o Paraná com 40% e o Rio Grande do Sul com 36% da produção brasileira de soja em grãos (83).

Embora apresentem baixa fertilidade, a potencialidade de utilização dos cerrados, localizados principalmente nos estados de

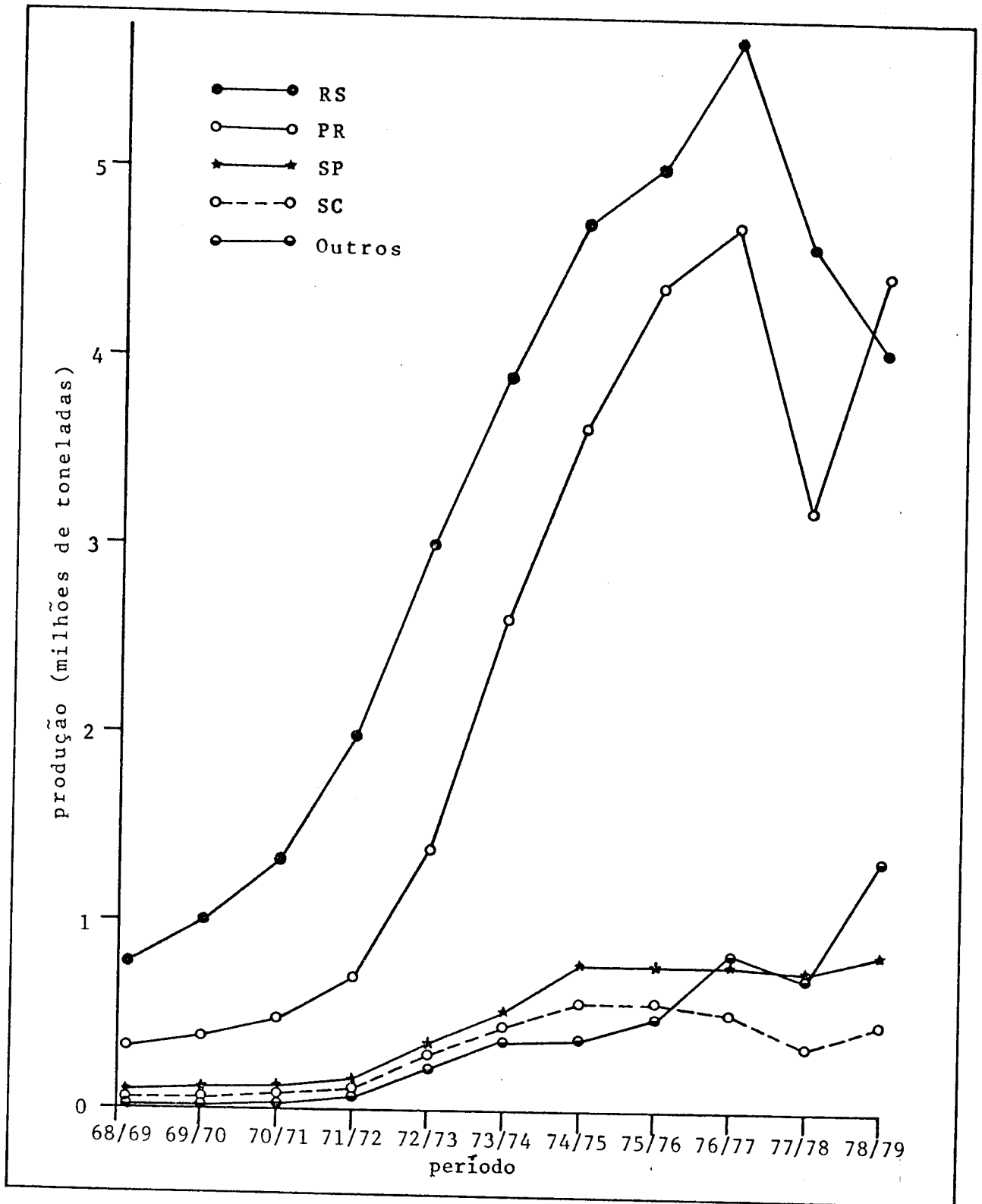


Figura 3. Principais estados brasileiros produtores de soja em grãos nos últimos 11 anos.

Fontes: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria da Agricultura, IEA (29, 30, 31).

Miyasaka (61.)

Minas Gerais, Mato Grosso do Norte, Mato Grosso do Sul e Goiás, a facilidade que este tipo de solo apresenta à cultura mecanizada e o emprego de variedades rústicas, justificam, em grande parte, a crescente participação desses estados tradicionalmente menos importantes sob o aspecto da produção de soja, que respondem, atualmente, por aproximadamente 12% da produção nacional, contra apenas 4% verificados no período 1975/1976 (68).

3.2.2.2 - Exportação

Conforme o Quadro 3, o ano de 1978 foi caracterizado por uma queda considerável na exportação de soja em grãos, como consequência da queda verificada na safra de 1977/1978. Não obstante, a exportação de farelo manteve-se em elevação e a de óleo de soja manteve-se estacionária.

Com respeito à pauta de exportação nacional, enquanto que em 1972 o farelo, o óleo e a soja em grãos ocupavam, respectivamente, o 5º, 31º e 6º lugares, em 1977 passaram a ocupar, respectivamente, o 2º, 10º e 4º lugares. No ano de 1978 o farelo ocupou novamente o 2º lugar na pauta de exportação, superado apenas pelo café; o óleo de soja ocupou o 7º lugar e a soja em grãos perdeu posição com respeito ao ano anterior, ocupando o 12º lugar. No ano de 1977 o complexo soja foi responsável por 17% do total das exportações brasileiras e por 30% das exportações de produtos agrícolas. No ano de 1978 sua participação caiu para 12 e 25%, respectivamente, cujos percentuais se aproximam aos atingidos em 1974 (7, 29, 30, 31).

Quadro 3. Exportação brasileira de soja em grãos e seus derivados entre 1974 e 1978

ano	soja em grãos		farelo de soja		óleo de soja	
	volume (1000 ton)	valor-FOB (US\$ milhão)	volume (1000 ton)	valor-FOB (US\$ milhão)	volume (1000 ton)	valor-FOB (US\$ milhão)
1974	2.730,4	585,3	2.030,9	303,0	2,3	1,9
1975	3.333,3	684,9	3.133,6	465,8	267,7	152,4
1976	3.639,5	788,1	4.367,0	794,6	452,9	174,6
1977	2.586,9	709,6	5.328,9	1.145,7	487,2	274,2
1978	658,5	169,8	5.419,1	1.049,0	487,8	278,2

Fontes: BRASIL, Banco do Brasil. CACEX, DIESN. NUSAN (7).

Governo do Estado de São Paulo, Secretaria da Agricultura IEA (29, 30, 31).

3.3. Critérios adotados para a qualificação de sementes

Do ponto de vista botânico a semente é considerada como uma estrutura que se desenvolve a partir de um óvulo, geralmente após sua fertilização. O ponto de vista agrícola engloba a definição anterior, acrescentando a possibilidade da participação dos tecidos associados ao óvulo no desenvolvimento da semente. Sob este último aspecto, a semente é uma planta embrionária, geralmente num estágio de descanso, suprida de reserva alimentar nos cotiledones, no endosperma ou no perisperma, protegida externamente por estruturas que constituem a casca (79, 80).

A legislação brasileira, através do parágrafo único do artigo 1º da lei federal nº 57.061 de 15/10/1965, identifica por sementes e mudas todo o grão, tubérculo ou bulbo, ou qualquer parte da

planta, que possa ser usado para sua reprodução. Conforme o artigo 10 dessa mesma lei, sementes agrícolas são estruturas vegetais de qualquer espécie, variedade ou tipo, que tenham finalidade específica de sementeira ou plantio, incluindo a soja na classe das sementes de grandes culturas.

Delouche (17) considera que a qualidade da semente é manifestada, principalmente, através dos seguintes atributos: a) pureza genética, caracterizada, principalmente, pela pureza vegetal; b) pureza física, caracterizada pela presença mínima de material inerte e sementes de outras plantas, cultivadas ou não; c) germinação e d) vigor. O autor estabelece que os problemas que envolvem a pureza genética e a pureza física, apesar de não serem menos importantes, são menos frequentes em sementes de soja. Por outro lado, os problemas mais crônicos que têm sido observados com mais frequência com relação à qualidade de sementes de soja, dizem respeito à germinação e vigor.

3.3.1 - Germinação

Segundo Popinigis (76) a semente contém um embrião que iniciou sua formação a partir do momento da fertilização do óvulo e desenvolveu-se durante a maturação até que o seu crescimento cessou e o teor de umidade diminuiu a um nível tão baixo que permite somente reduzida atividade metabólica. Nessas condições a semente está no chamado estado quiescente. Os processos fisiológicos do crescimento exigem atividades metabólicas elevadas, e a fase inicial da germinação consiste primariamente na ligação entre aqueles processos à respiração. O embrião, protegido por várias camadas de tecidos vivos e mortos, possui reservas para esse eventual aumento das atividades metabólicas. Germinação, portanto, é o reinício do cresci-

mento do embrião, que havia sido paralisado nos estágios finais da maturação da semente ainda na planta mãe.

O reinício do crescimento do embrião é uma manifestação externa do processo de conversão de substâncias orgânicas no endosperma e a formação de novas estruturas no embrião, a um nível molecular. A formação dessas novas estruturas é o resultado da síntese de proteínas, a qual é regulada pelo RNA. A acumulação de energia na forma de ATP ou em qualquer outro composto energeticamente rico é possível pela fosforilação oxidativa no mitocôndria (72).

Do ponto de vista botânico, considera-se e mede-se germinação a partir da emergência da radícula no tegumento da semente, enquanto que os tecnologistas da sua produção são legislados a medir a germinação após o embrião já ter se desenvolvido até um determinado tamanho (75).

Ovcharov (72) entende por germinação como a capacidade da semente estabelecer uma plântula normal, dentro de um período definido, fixado para cada espécie, sob condições ótimas de desenvolvimento, facilmente criadas em laboratório. A porcentagem de germinação é a razão numérica entre as sementes que germinaram normalmente e o número total utilizado para o teste.

O órgão norte-americano AOSA (3) e a Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) (32) definem germinação, em práticas de laboratório, como a emergência e desenvolvimento a partir do embrião da semente âquelas estruturas essenciais, as quais, para o tipo de semente em questão, são indicativas da habilidade para produzir uma plântula normal sob condições favoráveis. Segundo esses órgãos governamentais, o teste de germinação para as sementes de soja consite, basicamente, em colocar quatro repetições de cem sementes em

rolos de pano ou papel no interior de câmaras climáticas em condições de 100% de umidade relativa e temperatura de 20°C durante o período noturno e 30º durante o período diurno. A contagem inicial é feita entre o 4º e 6º dias após o início do teste e a contagem final é feita ao 8º dia.

A Figura 4 indica o desenvolvimento da plântula de soja considerada normal, durante os 8 dias do teste de germinação (12, 99).

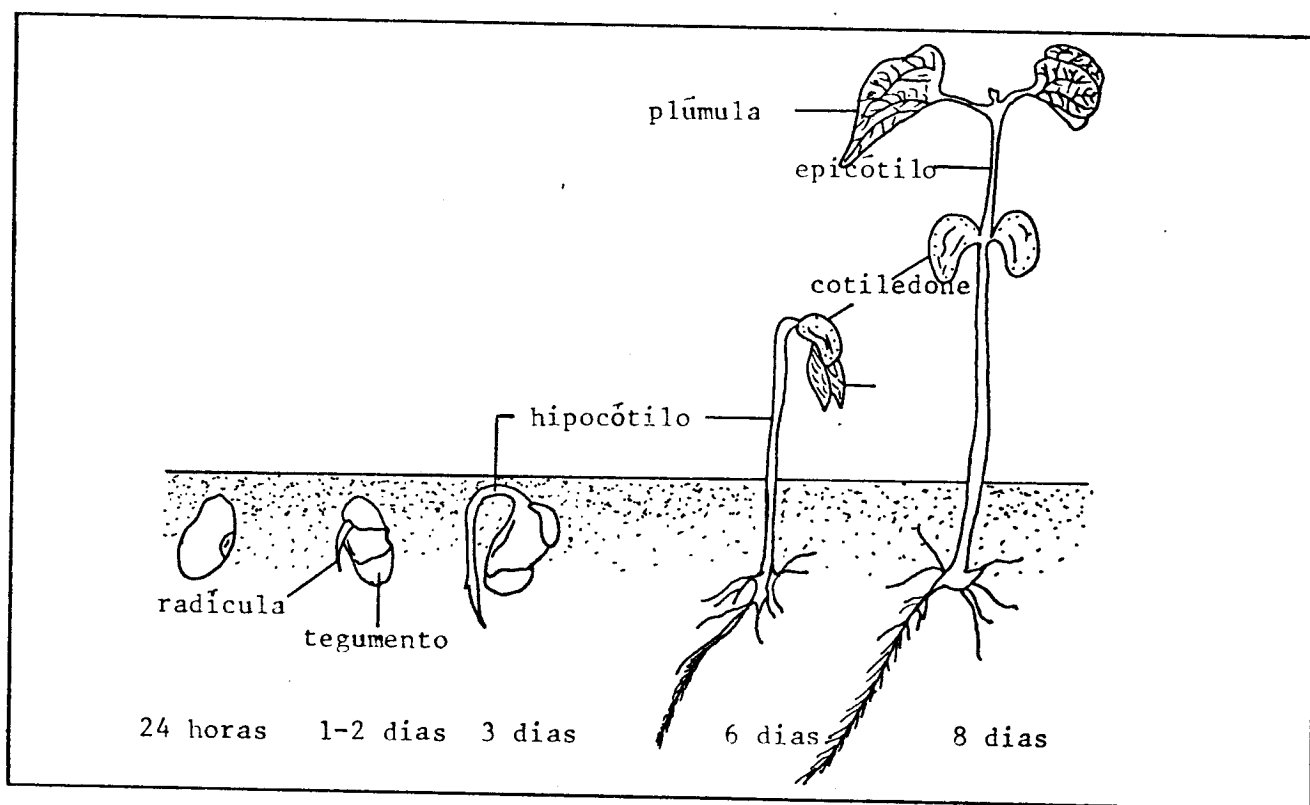


Fig. 4. Desenvolvimento da plântula de soja durante o teste de germinação.

Fontes: Carlson (12) e Toledo & Marcos Filho (99).

A obrigatoriedade da fiscalização do comércio de sementes e mudas no Brasil é estabelecido através do decreto nº 57.061 de 15/10/1965 (8), e, conforme a CATI (27), certifica-se como boa semente, para efeito de comercialização e plantio no Estado de São Paulo, o lote de soja que apresentar, entre outros atributos, um mínimo de 80% de germinação, cujo certificado é válido por 6 meses. Após esse

período, caso a semente ainda não tenha sido utilizada, efetua-se a reanálise, mantendo o mínimo de 80% de germinação como uma das exigências para sua comercialização.

3.3.2. Vigor

Diversos autores têm criticado a adoção, por parte de órgãos de legislação, fiscalização e comercialização, do teste de germinação como atributo da semente para produzir uma plântula normal, sem adotar outro critério que indique o potencial dessa semente germinar quando sujeita às vicissitudes pelas quais ela atravessará durante toda sua vida (4, 17, 18, 39, 54, 75, 110).

Alguns autores ressaltam a importância não só da necessidade da semente conter alto índice de germinação mas, quando semeada no campo, seu crescimento deve ser rápido, uniforme e vigoroso. Introduz-se, aqui, o conceito de velocidade de germinação, uma das definições de vigor, que caracteriza a semente em ser competitiva com outros organismos vivos próprios do solo, pelos nutrientes minerais, luz e água, tornando-a menos susceptível ao ataque de microorganismos e insetos (4, 75).

Delouche (17), Delouche & Baskin (18), Heydecker (39) e Woodstock (110) acrescentam à definição de vigor acima a necessidade da semente germinar sob condições ambientais desfavoráveis. O fato dos procedimentos do teste de germinação terem sido estabelecidos sob condições ótimas para o desenvolvimento da semente, tornam-no insensível para a determinação rigorosa da qualidade desta.

Segundo Isely (1957), citado por Woodstock (110), embora os conceitos de velocidade de germinação e susceptibilidade às con-

dições desfavoráveis de desenvolvimento sejam, entre vários propósitos, os mais aceitos para a definição de vigor e embora sejam tratados como duas entidades diferentes, eles podem ser considerados como resultantes do mesmo complexo fisiológico, uma vez que sementes com baixa velocidade de germinação e as que originam plântulas anormais são aquelas mais susceptíveis às condições desfavoráveis.

O teste de germinação enfoca, principalmente, a consequência final da deterioração da semente, embora sendo esta a mais desastrosa; mas não leva em consideração adequadamente a substancial perda de potencial de produção que pode ocorrer antes que as sementes percam a capacidade de germinar, influenciando diretamente no desempenho no campo e na sua capacidade de armazenamento (17).

O Quadro 4, obtido de Delouche (17), indica a comparação entre a emergência de 94 lotes de sementes de soja obtida em testes de laboratório e quando semeadas no campo. Observa-se que houve uma tendência das sementes de germinação mais alta germinarem mais satisfatoriamente no campo. Por outro lado, 3 lotes que apresentaram germinação no laboratório entre 90 e 94%, no campo sua emergência foi menor que 60%. Os sete lotes que no laboratório apresentaram germinação entre 85 e 89%, no campo seu desempenho foi abaixo de 50%.

Quadro 4. Comparação entre a emergência de 94 lotes de sementes de soja obtida em testes de laboratório e quando semeadas no campo

emergência no campo (%)	emergência no laboratório (%)			número total
	90-94	85-89	80-84	
acima de 90%	5	0	0	5
80 - 89	9	12	0	21
70 - 79	10	14	6	30
60 - 69	2	8	4	14
50 - 59	3	6	6	15
40 - 49	0	3	2	5
abaixo de 40%	0	4	0	4
número total	29	47	18	94

Fonte : Delouche (17)

O Quadro 5, obtido de Delouche & Baskin, (18), indica a comparação da germinação entre 5 lotes de sementes de soja armazenadas 24 meses ao ambiente. No início do armazenamento, com índices de germinação aproximadamente iguais, os lotes apresentaram entre si, após 1 ano de experimento, índices que variavam de 12 a 81% e de 4 a 50% após 2 anos, indicando que os lotes, no momento em que foram iniciados os testes, não apresentaram qualquer informação a respeito de seu potencial de armazenamento.

Quadro 5. Comparação da germinação entre 5 lotes de sementes de soja, armazenadas 24 meses ao ambiente

lote nº	período de armazenamento (meses)				
	0	6	12	18	24
	germinação (%)				
1	86	87	81	66	50
2	94	90	80	60	42
3	90	84	74	30	0
4	88	77	44	1	0
5	86	56	12	4	4

Fonte: Delouche & Baskin (18)

Conforme Woodstock (110), embora os testes de vigor ainda não tenham sido aceitos internacionalmente na legislação de sementes, como resultado, principalmente, da discordância do que realmente seja o vigor, há na literatura sugestões para medi-lo através de duas maneiras: a) pela medida de certos atributos fisiológicos tais como o crescimento da planta, algumas vezes referenciado como medida indireta ou b) pela imitação das condições do campo, geralmente referenciado como medida direta do vigor. Assim, continua o autor, o vigor pode ser visto tanto como uma propriedade intrínseca da

semente como o resultado da interação semente-ambiente. O mérito relativo entre essas duas aproximações do que seja vigor ainda está sendo debatido.

Para prever o potencial de armazenamento de sementes, De-
Louche & Baskin (18) propõem o método de envelhecimento acelerado, o
qual consiste em submetê-las a condições de temperatura que variam ent
tre 40 a 45°C e umidades relativas de 100%, num período que varia ent
tre 2 a 8 dias, conforme o tipo de semente. Em alguns casos, um re-
gime menos severo de 30°C e 75% de umidade relativa durante um perío
do que varie entre 6 a 24 semanas pode apresentar melhores resulta-
dos. O Quadro 6 indica as maiores correlações obtidas pelos autores
na previsão do potencial para vários períodos de armazenamento de se-
mentes de soja submetidas ao teste de envelhecimento acelerado.

Quadro 6. Máximos coeficientes de correlação na previsão
do potencial de armazenamento de sementes de
soja ao ambiente (Michigan, EUA) pelo método de
envelhecimento acelerado*

regime	período de armazenamento (meses)			
	6	9	12	15
40°C - 100% UR/42 h.	0.826	0.885	0.717	-
30°C - 75% UR / 9 semanas	0.859	0.736	0.939	0.811

* todos os coeficientes de correlação são significantes ao nível
de 1% de probabilidade.

Fonte: Delouche & Baskin (18).

Assim, para as condições do experimento, o regime de 40°C
e 100% de umidade relativa durante 42 horas previu satisfatoriamente
a germinação da soja após 9 meses de armazenamento (coeficiente
de correlação 0,885). Para o período de 12 meses, o regime que pre

viu com maior aproximação a condição da germinação da semente foi o de submetê-la a 30°C e 75 de umidade relativa durante 9 semanas (coeficiente de correlação 0,939).

Usberti (100), utilizando-se de sementes de soja, variedade Santa Rosa, acondicionadas em sacas em armazém convencional, com teor de umidade entre 9,5 e 11,5%, sob temperatura e umidade relativa que variaram entre 19 a 27°C e 52 a 80%, respectivamente, indica os tratamentos para o teste de envelhecimento acelerado constantes no Quadro 7.

Quadro 7. Tempo de exposição de sementes de soja, variedade Santa Rosa, a 43°C $\pm$ 0,5°C e 100% de umidade relativa, no teste de envelhecimento acelerado para prever seu potencial de armazenamento, e máximos coeficientes de correlação simples obtidos

período de armazenamento (meses)	tempo de exposição (horas)	coeficiente de correlação
2	12	0,807
4	24	0,713
6	48	0,852
8	48	0,845
10	48	0,798

Fonte: Usberti (100).

3.4 - Queda da qualidade fisiológica

3.4.1. Processo de senescência e alterações observadas na semente.

A maioria das sementes, dentre as quais se encontra a soja, atinge o ponto de máxima qualidade fisiológica no estado da maturida

de, caracterizado pelo estágio do desenvolvimento da planta em que a semente acumulou o máximo de peso seco. Nesse estágio a semente possue o máximo vigor e máxima germinação (17). É também uma evidência que o fornecimento de nutrientes à semente pela planta-mãe logo cessará (37).

O processo de deterioração inicia tão logo a semente atinja o estado de maturidade fisiológica e continua através de todas as etapas pelas quais atravessará, até o momento em que dê origem a uma nova planta (49).

Os principais fatores que contribuem para a queda da qualidade fisiológica da semente incluem injúrias mecânicas, altas temperaturas, altas umidades relativas e danos por patógenos e insetos (4, 75, 78).

A Figura 5 indica, de uma forma geral, a queda da qualidade de um lote de sementes, manifestada pela perda do vigor e germinação, com respeito ao tempo. O valor absoluto para o tempo é principalmente uma função da espécie e teor de umidade da semente e das condições de armazenamento. A inclinação da curva é principalmente uma função da pureza genética, da uniformidade da maturação e do manuseio do lote. Se o lote é homogêneo, a queda da germinação pode ser íngreme; se o lote for muito heterogêneo, o declínio pode ser muito gradual (37).

Com respeito à forma da curva de sobrevivência de um lote de sementes, Roberts (79) comenta que mesmo dentro da população do lote armazenado sob condições constantes existe uma marcada variação de semente para semente no período de viabilidade. A distribuição da frequência dos períodos de viabilidade das sementes individuais determinará a forma da curva de sobrevivência da população. Assim, a in-

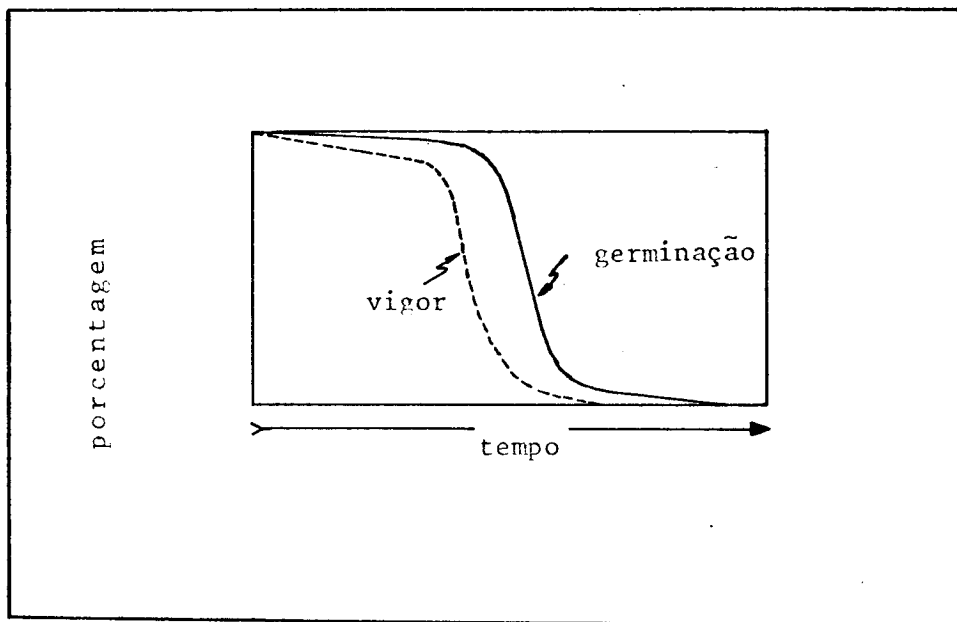


Figura 5 - Queda da qualidade fisiológica de um lote de sementes.

Fonte: Harrington (37).

clinação da curva é, na realidade, uma medida da variação da distribuição dos períodos de viabilidade de cada indivíduo entre a população do lote; ou seja, quanto maior a variação, menos íngreme será a inclinação da curva. Por outro lado, se todas as sementes, no ponto de máxima qualidade fisiológica, tivessem idêntico período de viabilidade, a curva de sobrevivência começaria como uma linha horizontal a partir do valor correspondente à máxima qualidade e então cairia verticalmente no ponto determinado pelo tempo em que todas as sementes perdem sua viabilidade.

Embora os sintomas da deterioração antes que ocorra a morte da semente estejam já bem estabelecidos, o delineamento das causas ainda não está suficientemente claro. Isto ocorre não pelo desconhecimento das mudanças citológicas e metabólicas envolvidas no processo, mas, principalmente, pelo fato de que muitas delas têm sido registradas, dificultando o estabelecimento: a) das causas principais da inevitabilidade da morte da semente e b) das causas imediatas responsáveis pela redução do crescimento ou inabilidade para germinar (80, 81).

Entre as alterações observadas na semente que estão relacionadas com sua senescência, Harrington (37) indica a diminuição da força dos cromossomas; a perda da atividade respiratória; aumento na permeabilidade das membranas celulares; produção de endotoxinas e perda da habilidade para produzir hormônios, tais como ácido giberélico e fitoquininas. A perda da habilidade para produzir hormônios pode ser causada pela destruição de enzimas através da desnaturação de proteínas, pela atividade de radicais livres ou pela inabilidade de produzir enzimas como consequência dos danos causados aos cromossomas.

Segundo Roberts (82) as causas da senescência incluem os danos aos cromossomas e em todas as organelas subcelulares. Os danos aos cromossomas e ribossomas são sintomas de uma geral degradação dos ácidos nucleicos e os danos às demais organelas são sintomas de uma geral degradação das membranas lipo-protêicas. Os danos às membranas celulares são evidenciados pela perda de seus constituintes internos e perda de seletividade com respeito à troca de íons. Durante a senescência da semente, algumas enzimas tendem a diminuir de atividade, particularmente aquelas relacionadas com reações de redução, enquanto que outras tendem a aumentar de atividade, principalmente as hidrolíticas.

Dentre as várias mudanças químicas que ocorrem, Roberts (82) faz referência à vagarosa diminuição de proteínas e de açúcares não redutores e ao aumento de ácidos graxos e açúcares redutores. Em bora essas mudanças químicas sejam aceleradas por microorganismos, há evidências de que elas possam ocorrer na ausência destes. O autor cita também o aumento na atividade de inibidores do crescimento, alguns identificados, outros não.

3.4.2. Durante a permanência na planta, antes da colheita.

No momento em que atinge a maturação fisiológica na planta, a semente possui a máxima viabilidade e máximo vigor, os quais podem ou não ser altos dependendo das condições durante o crescimento da planta e maturação da semente. Doenças e ataque de insetos, falta de água e deficiências minerais são alguns dos fatores que podem reduzir a máxima qualidade fisiológica à maturidade da semente (24).

O instante em que a semente de soja atinge sua maturação fi

siológica tem sido sugerido diferentemente por vários autores. Segundo Delouche (17), esse estágio é atingido no momento em que a soja apresentar teores de umidade ao redor de 40-50%. Mandragon e Potts (62) indicam um teor de umidade em torno de 30%.

Conforme Costa (16), em experimentos com 18 variedades de sementes de soja, 95% das vagens se tornaram fisiologicamente maduras entre 91 e 112 dias após o plantio, para as variedades de ciclo precoce; 109 a 125 dias nas variedades de linhagem de ciclo médio (dentre as quais se inclui a variedade Santa Rosa) e 126 a 153 dias para as variedades de linhagem de ciclo tardio. O autor, porém, não faz referência ao teor de umidade das sementes no instante em que atingiram a maturação.

Sediyama *et alli* (88), utilizando variedades Viçoja, Mineira e IAC-2, observaram que 95% das vagens das plantas se apresentaram maduras quando os teores de umidade haviam atingido 21, 23,5 e 27%, respectivamente.

Delouche (17), porém, afirma que a qualidade das sementes de soja somente é afetada pelas condições climáticas a que estas estão submetidas no campo, a partir do momento que atingirem pela primeira vez o teor de umidade de 25%, após o estado de maturação fisiológica. Sob boas condições de secagem no campo, esse teor de umidade cai para 15 a 18% em apenas 1 semana. Porém, sob condições climáticas adversas, caracterizadas pela presença de chuvas, contínuas ou frequentes, a qualidade da semente é bastante afetada, tanto pela exposição a altas umidades relativas como pelas sucessivas secagens e reumidificações.

Com respeito à exposição de sementes de soja sob condições adversas do campo, Mondragon & Potts (62) observam que não são os va

lores absolutos destas variáveis que determinam, em maior escala; a perda da qualidade fisiológica, mas a taxa e a faixa de variação observadas. Moore (63) comenta que sementes de soja estão entre os exemplos mais comuns com respeito à associação existente entre a perda da qualidade da semente e as sucessivas secagens e reumidificações. As injúrias qualificadas como as mais importantes são a ruptura das membranas celulares e o envolvimento de danos associados com o fenômeno plasmólise-desplasmólise. A destruição das membranas celulares é consequência tanto da perda rápida de água pelos tecidos úmidos e vivos, como pela rápida adsorção desta pelos tecidos secos e vivos.

O Quadro 8 indica o efeito da permanência de 2 variedades de sementes de soja no campo, após terem atingido a maturidade fisiológica, no teor de umidade e germinação, onde as sementes experimentam sucessivas secagens e reumidificações. Enquanto que a variedade Hill

Quadro 8. Efeito no conteúdo de umidade e germinação de sementes de soja durante a permanência no campo, após a maturação fisiológica e sob sucessivas secagens e reumidificações

data da colheita	variedade Hill		variedade Bragg	
	umidade (%)	germinação(%)	umidade(%)	germinação(%)
15/09	26	96		
22/09	13	97		
29/09*	17	90		
06/10*	20	78		
13/10	11	76	26	98
20/10*	19	71	18	98
27/10	12	53	13	93
03/11*	14	37	14	92
10/11			12	92
17/11*			20	89
24/11*			13	86
01/12			15	87
08/12			11	84
15/12			14	84

* uma ou mais chuvas durante a semana precedente.

Fonte: Delouche (17).

após 7 semanas sujeita às condições adversas teve sua germinação diminuída de 96 para 37%, na variedade Bragg, após 7 semanas, das quais 4 com dias chuvosos, a queda da germinação foi de 98 para 84%. O autor, Delouche (17), comenta que a queda maior observada na germinação da variedade Hill foi ocasionada pelos períodos mais quentes ocorridos durante sua permanência no campo.

Outros fatores que estão relacionados com a perda da qualidade fisiológica de sementes de soja durante sua permanência na planta dizem respeito à atuação de insetos e microorganismos presentes no solo.

Wilcox *et alli* (109) observaram um significativo aumento de sementes de soja infectadas com Diaporthe phaseolorum var sojae e Alternaria spp associado com o retardamento da colheita e a queda da qualidade fisiológica (Quadro 9).

O efeito do retardamento da colheita afetou adversamente as plantas de maturação precoce (Grupos I e II) mais do que as de maturação tardia (Grupos III e IV). Uma redução média de 36 pontos nos testes de germinação foi associada a sementes com atraso de 10 semanas na colheita de variedades dos Grupos I e II. Reduções médias de 10 a 6 pontos foram associados a sementes com atraso de 8 semanas na colheita de variedades dos Grupos III e IV, respectivamente. A incidência de D. phaseolorum associada com o atraso de 8-10 semanas na colheita aumentou, em média, 26 pontos em variedades do Grupo I, 30 pontos em variedades do Grupo II e 9 nos Grupos III e IV. Houve, também, um consistente e significativo aumento na incidência de Alternaria spp em sementes associadas com atraso na colheita.

A influência de microorganismos na queda da germinação de sementes de soja associada com o retardamento na colheita também foi

Quadro 9. Germinação e incidência de microorganismos em sementes de soja com relação ao retardamento da colheita.

grupo de maturi dade e cultivar	data da maturidade	germinação (%)		incidência de microorganismos			
				D. <u>phaseolorum</u> var <u>sojae</u>		Alternaria spp	
<u>Grupo I</u>		07/10	15/12	07/10	15/12	07/10	15/12
Chippewa 64	15/09	66	34	54	80	01	02
Steele	15/09	78	51	34	49	04	25
Rampage	17/09	89	40	32	64	01	04
Hark	18/09	91	56	32	63	02	19
<u>Grupo II</u>							
Wells	19/09	78	44	29	51	04	18
Provar	21/09	73	26	42	81	0	01
Corsoy	23/09	69	44	32	59	02	14
Amsoy 71	24/09	77	33	29	64	03	10
Beeson	24/09	76	46	25	48	04	30
<u>Grupo III</u>		17/10	15/12	17/10	15/12	17/10	15/12
Wayne	03/10	79	60	33	47	01	10
Calland	05/10	77	72	26	24	0	04
Kanrich	05/10	80	70	08	21	02	11
Williams	06/10	99	94	01	11	02	03
<u>Grupo IV</u>							
Bonus	07/10	96	86	06	20	01	06
Butler 71	10/10	94	89	01	10	0	02
Kent	14/10	93	88	02	06	0	05

Fonte: Wilcox et alli (109)

observada por Ellis & Sinclair (21). Colhidas no ponto da maturidade fisiológica, a variedade Beeson apresentou 95% de germinação e a incidência total de fungos foi 14,8%, dos quais 2,3, 2,2 e 1,7% foram, respectivamente, D. phaseolorum var sojae (Phomopsis spp), Alternaria spp e Fusarium spp. Após o retardamento de 30 dias na colheita a germinação caiu para 68% e a incidência de fungos atingiu 55,8%, dos quais 14,8, 27,8 e 6,4% corresponderam, respectivamente, ao D. phaseolorum, Alternaria spp e Fusarium spp. Os autores indicam, ainda, a incidência de outros fungos, tais como Aspergillus spp, Cercospora spp, Cladosporium spp, Nigrospora spp, Penicillium spp e Rhizopus spp.

3.4.3. Durante a colheita o manuseio

Diversos autores têm sugerido diferentes épocas para a colheita de sementes de soja. A disparidade existente reside no fato da necessidade de conciliar o teor de umidade adequado para a colheita, valor este que depende da influência da permanência da semente no campo e a utilização de máquinas colhedeiras na perda da qualidade fisiológica.

Se por um lado alguns autores (16, 63, 77) indicam como período ótimo de colheita quando a soja estiver com 17-20% de umidade, como resultado da proximidade do ponto de máxima qualidade fisiológica, outros autores (17, 33, 84, 107) sugerem uma faixa de umidade entre 13-16%, como consequência da atuação das máquinas colhedeiras.

Delouche (17) comenta que sob boas condições de secagem no campo o conteúdo de umidade da semente fisiologicamente madura decresce rapidamente, atingindo valores próximos a 15% em pouco mais de 1 semana; acrescentando, porém, que tais condições não eliminam to-

dos os problemas envolvidos com a deterioração provocada pelo retardamento da colheita. A soja se torna muito quebradiça e susceptível a injúrias mecânicas quando seu conteúdo de umidade for menor que 13-14%. Se o conteúdo de umidade cair abaixo de 10% no campo antes que a colheita seja iniciada ou completada, substanciais injúrias mecânicas à semente podem ocorrer, mesmo que a operação de colheita tenha sido efetuada cuidadosamente. Delouche sugere que a soja seja colhida tão logo seu conteúdo de umidade tenha caído para próximo de 14%. Valores acima deste também estão associados com injúrias à semente, menos visíveis, porém não menos deteriorativos.

Welch (107) indica que o menor dano mecânico que a semente de soja experimenta durante a colheita situa-se dentro de uma faixa de teor de umidade entre 13 e 16%. Quando colhida mecanicamente a 11,5% de umidade a presença de sementes quebradas é o dobro do que quando colhidas a 13,5%.

O conteúdo de umidade das sementes individuais dentro de um lote durante o impacto mecânico exerce influência sobre a natureza e extensão da injúria. As sementes mais úmidas tendem a sofrer escoriações enquanto que as mais secas tendem a fraturar. As escoriações geralmente não apresentam um sério efeito imediato sobre a sanidade e viabilidade da semente como acontece com as fraturas. Entretanto, os altos teores de umidade, associados com as escoriações, aceleram a taxa de deterioração, especialmente se as sementes não são secas pronta e adequadamente. Moore (63) comenta que, quando dentro das faixas ótimas de umidade com respeito aos danos mecânicos, as sementes são secas o suficiente para prevenir a ruptura das células e a liberação de líquidos hidrolíticos associadas às escoriações, porém úmidas o suficiente para evitar fraturas. Para o caso da soja, o autor sugere uma faixa de umidade ótima entre 16 e 18%.

Estudando a influência da velocidade do cilindro da colheadeira sobre fraturas no tegumento de sementes de soja, Moore (1957), citado por Moore (63) notou ocorrência de aumentos de danos à medida que a velocidade do cilindro aumenta, sendo esses mais evidentes com a diminuição do teor de umidade da semente (Quadro 10). O autor faz referência à escolha do período do dia adequado à colheita, uma vez que os níveis de umidade 13,5 e 12,2%, constantes do Quadro 10 foram obtidos em sementes colhidas no mesmo dia, porém às 10:00 e 13:00 horas, respectivamente.

Quadro 10. Influência da velocidade do cilindro da colhedeira na porcentagem de sementes de soja com tegumento fraturado

velocidade do cilindro (rpm)	teor de umidade da semente (%)	
	13,5	12,2
700	4	5
900	5	24
1155	12	48

Fonte: Moore (63).

A delicadeza estrutural e fisiológica das sementes de soja contribui em grande proporção para a ocorrência de problemas associados com a perda da germinação e vigor. A posição do eixo radícula-hipocótilo (Figura 1) e a delicadeza do tegumento da semente de soja, que é sua única proteção, tornam-na especialmente vulnerável a injúrias por abusos mecânicos de qualquer fonte. Desde que o eixo radícula-hipocótilo é essencial para a germinação, qualquer dano substancial a este pode ser desastroso para a semente (17).

Com respeito à influência do tipo de dano mecânico na ger

minação de sementes de soja, Stanway (91) verificou redução de 40% na germinação em laboratório de sementes quando o tegumento foi rachado ou despedaçado, mesmo quando os cotilédones permaneceram intactos (Quadro 11). A germinação no campo (66% para sementes não danificadas visivelmente) foi reduzida para 10%. Rachaduras transversais ocorridas travês dos cotilédones causaram decrêscimos similares na germinação em laboratório. Quando o teor de rachaduras nos cotilédones foi intenso, a germinação foi bastante reduzida, limitada àqueles pedaços com o eixo embrionário intacto.

Quadro 11. Efeito na germinação em laboratório de sementes de soja, var. Forrest, com respeito a diferentes graus de injúria mecânica no tegumento

nº de lotes	nenhum dano visível (controle)	rupturas no tegumento, cotilédones intactos	rupturas no tegumento, cotilédones atacados	sem tegumento, cotil. separados ou somente 1 cotil. no tegumento
16	85	31	11	0,8
5	81	28	7	0,6
média	83	30	9	0,7

Fonte: Stanway (91).

Da mesma forma que na colheita, o teor de umidade das sementes de soja é o fator que mais influencia a queda de sua qualidade fisiológica quando sujeita às condições de operação das demais etapas de seu manuseio. De modo geral, teores de umidade abaixo de 12% estão altamente relacionados com a verificação de altas percentagens de grãos quebrados nos diferentes tipos de transportadores, carregadores, etc. (17, 35, 51).

Quando utilizados transportadores de rosca-sem-fim, sementes de soja com teores de umidade abaixo de 13% apresentaram signi-

ficativa percentagem de grãos quebrados, principalmente quando o transportador operou abaixo de sua capacidade de carga e a velocidade acima do especificado. Não houve qualquer dano às sementes quando elas estavam com 19% de umidade e o transportador, trabalhando à plena carga, estava inclinado 50° , com velocidade de 275 rpm e diâmetro de 0,10m. Entretanto, com a mesma inclinação e diâmetro do transportador, houve 16,7% de grãos quebrados quando as sementes estavam com 13% de umidade e o transportador operou com apenas 1/4 de sua carga, à velocidade de 865 rpm. Em transportadores verticais de canecas, houve a mesma interação teor de umidade — velocidade — carga do transportador, porém as quebras foram muito menores que as ocorridas no do tipo rosca-sem-fim (35). Entretanto, na repetibilidade da passagem das sementes em elevadores de canecas, como geralmente é necessário durante a operação da secagem em secadores contínuos, as quebras e as consequências imediatas e após 6 meses de armazenamento na viabilidade das sementes podem ser bastante significativas, principalmente com teores de umidade abaixo de 12% e a velocidade superiores a 145 rpm (51).

No carregamento de um silo com sementes de soja, *Fiscus et alli* (22) mostraram a associação existente entre a diminuição do teor de umidade e a altura da queda com o aumento de grãos quebrados (Figura 6). O impacto grão-concreto foi mais prejudicial que o impacto grão-grão. Resultados praticamente idênticos à Figura 6 foram obtidos pelos mesmos autores quando se variou o diâmetro da abertura no carregamento, indicando que para um mesmo teor de umidade, numa dada altura, diâmetros de 0,20 e 0,30m tiveram o mesmo efeito na percentagem de quebras que os tratamentos grão-concreto e grão-grão, respectivamente.

Os efeitos posteriores dos danos mecânicos geralmente são

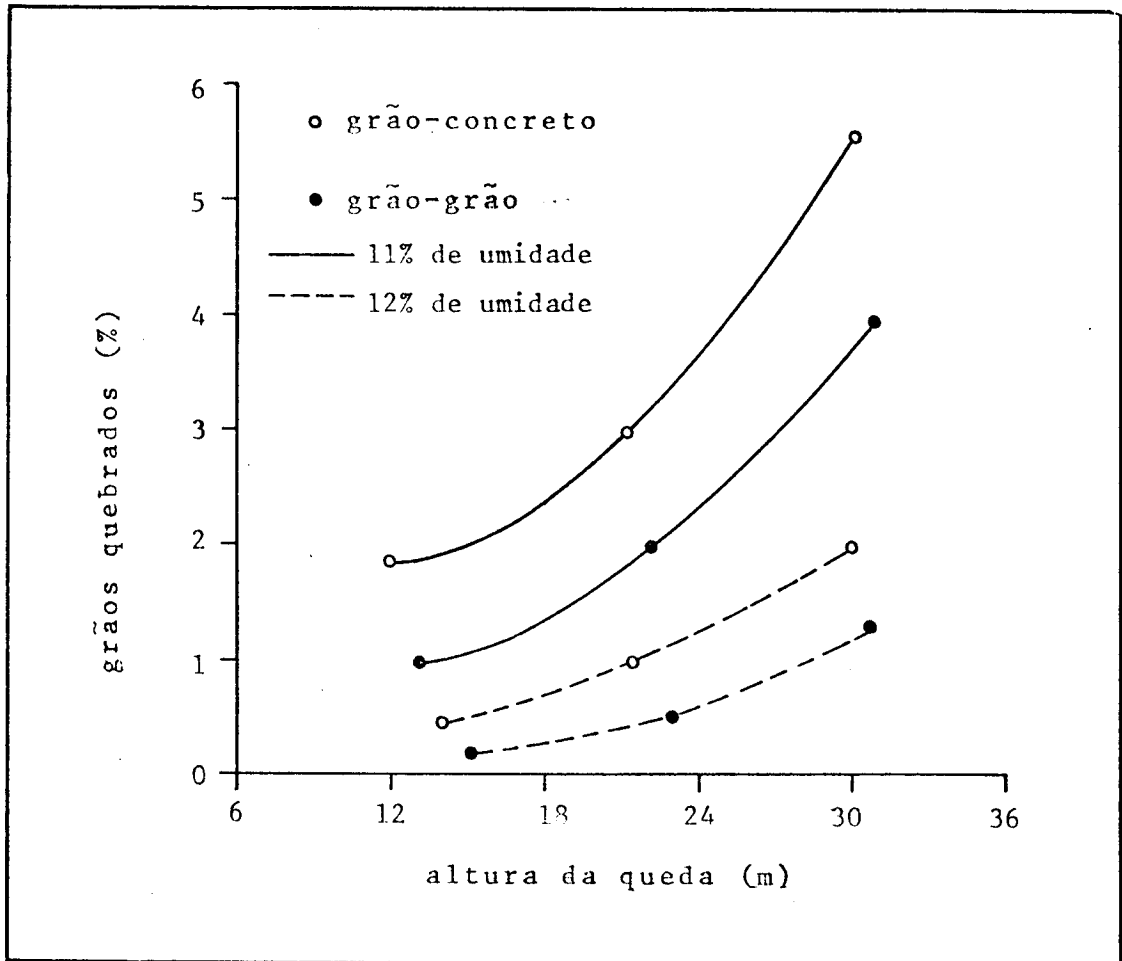


Figura 6. Efeito da altura da queda, superfícies de impacto e teor de umidade na incidência de grãos quebrados.

Fonte: Físcus et alli (22).

mais problemáticos e de maior importância econômica. Durante o armazenamento, as áreas injuriadas servem como centro de infecção e resultam num envelhecimento acelerado que diminui a duração da viabilidade das sementes (63).

O Quadro 12, obtido de Baudet *et alii* (5), indica a influência da velocidade de um elevador de canecas na queda imediata e após 180 dias de armazenamento de sementes de soja, variedade Davis, a 13,8% de umidade. Inicialmente com germinação e vigor de 90 e 75%, respectivamente, quando se utilizou velocidade de 65 rpm, os danos imediatos caracterizaram-se pela queda da germinação para 82% e vigor para 68%. Após 180 dias de armazenamento em sacas, onde a temperatura variou entre 11,6 e 24,5°C e a umidade relativa entre 67,7 e 87,6%, a germinação diminuiu para 71% e o vigor para 33%. Quando se utilizou velocidade de 145 rpm, os danos imediatos e latentes foram maiores; os primeiros caracterizados pela queda da germinação e vigor aos níveis de 78 e 56%, respectivamente, os últimos pela diminuição da germinação para 59% e do vigor para 24%. Os principais tipos de danos foram tegumento rachado e sementes partidas, enquanto que as principais anormalidades verificadas nos testes de germinação e vigor foram crescimento anormal do hipocótilo e cotilédones danificados.

Quadro 12. Efeito da velocidade de um elevador de canecas na queda imediata e latente da germinação e vigor de sementes de soja a 13,8% de umidade.*

velocidade do elevador (rpm)	após operação no elevador		após 180 dias de armazenamento**	
	germ. (%)	vigor (%)	germ. (%)	vigor (%)
65	82	68	71	33
85	82	66	68	32
105	76	59	63	27
125	81	59	64	26
145	78	56	59	24

* germinação inicial: 90%; vigor inicial: 75%.

** temperatura de armazenamento: 11,6-24,5°C
umidade relativa de armazenamento: 67,7-87,6%.

Fonte: Baudet et alli (5)

3.4.4. Durante a secagem.

3.4.4.1. Exposição a altas temperaturas em camadas espessas.

Quando armazenadas em silos, graneleiros ou mesmo em sacas, recomenda-se que as sementes de soja permaneçam com teor de umidade entre 10 e 12%. Como os teores de umidade indicados para que seja feita a colheita estão acima destes valores, as sementes de soja devem ser submetidas ao processo de secagem tão logo sejam colhidas (11, 17, 24, 34).

Embora seja uma boa prática reduzir o conteúdo de umidade de sementes para aumentar sua longevidade, os perigos das injúrias devido à excessiva secagem são fundamentais (70). Já está bem

estabelecido que temperaturas do ar de secagem acima de 43°C são prejudiciais à qualidade de sementes (24,55).

Sementes de soja colhidas manualmente com conteúdos iniciais de umidade de 20, 24 e 33% foram secas em camadas delgadas com ar a temperaturas entre 37,8 e 104,4°C (73). Severos danos aos grãos foram observados durante a sua secagem, na forma de tegumentos soltos e fissuras nos cotiledones em forma de V que chegaram a ocupar até 3/4 da circunferência do grão. Nas temperaturas mais altas, para teores de umidade iniciais maiores, as sementes sofreram quebras mesmo após a secagem. As fissuras foram todas bem desenvolvidas logo após os primeiros 5 minutos da secagem.

Conduzindo a secagem de sementes de soja, desde 18-20% de umidade inicial até 10% de umidade final, em camadas delgadas, com temperaturas do ar de 24, 41, 57 e 74°C, Rojanasaroj *et alli* (84) observaram, após a operação, danos totais aos grãos de 15, 23, 65 e 82%, respectivamente, caracterizados, principalmente, pela quebra do tegumento, com o mesmo ainda no grão, e os cotiledones intactos.

McKenzie (55) e Rojanasaroj *et alli* (84) comentam que o fator principal para evitar quebras consideráveis no tegumento das sementes é evitar que a umidade relativa do ar de secagem caia abaixo de 40%.

Além dos danos externos causados à semente, com a consequente perda da viabilidade ou produção de plantas anormais, danos internos também estão relacionados com o excessivo uso de calor (67).

Segundo Greer (1953), citado por Watson (106), os primeiros estágios da secagem são caracterizados, principalmente, pela evaporação da água nas camadas externas da semente e que a temperatura

do grão tende a se aproximar à temperatura do bulbo úmido do ar que o envolve. Subsequentemente, a evaporação é controlada pela taxa a qual a água pode ser transportada das camadas mais internas às camadas superficiais. Desde que a capacidade da maioria dos tecidos vivos naturais a transportar a água é reduzida à medida que o conteúdo de umidade diminui, a secagem muito rápida pode resultar na ruptura das membranas celulares.

Os danos causados à estrutura da semente pelo excessivo uso de calor tornam-se ainda maiores devido a impactos mecânicos após a secagem (63, 84), com a consequente diminuição do potencial de armazenamento das sementes, seja pelo aumento da taxa respiratória do grão danificado (46, 92), seja pela susceptibilidade ao ataque de fungos durante o armazenamento (14, 55).

A Figura 7, obtida de White *et alli* (108), apresenta os resultados sobre a influência da temperatura de secagem na germinação de sementes de soja quando secas desde 18-20% de umidade inicial até 12 e 17% de umidade final e durante 6 meses de armazenamento sob 3 diferentes temperaturas. Com respeito ao teor final de umidade após a secagem, a uma dada temperatura, praticamente não houve diferenças na queda da germinação, embora diferenças maiores foram correlacionadas com temperaturas de secagem maiores. Após a secagem, sementes secas com temperatura entre 24 e 41°C germinaram, em média, o dobro daquelas secas com temperatura de 57°C (80% contra 40%, respectivamente). Embora não tenha havido uma influência significativa da temperatura de secagem durante o armazenamento, as diferenças já verificadas no início deste mantiveram-se praticamente as mesmas, mesmo após 6 meses, a 10°C, com 12% de umidade. Quando armazenadas 6 meses a 21°C, as sementes de soja com 12% de umidade apresentaram uma diferença de apenas 10 pontos na porcentagem de germinação (aproxi-

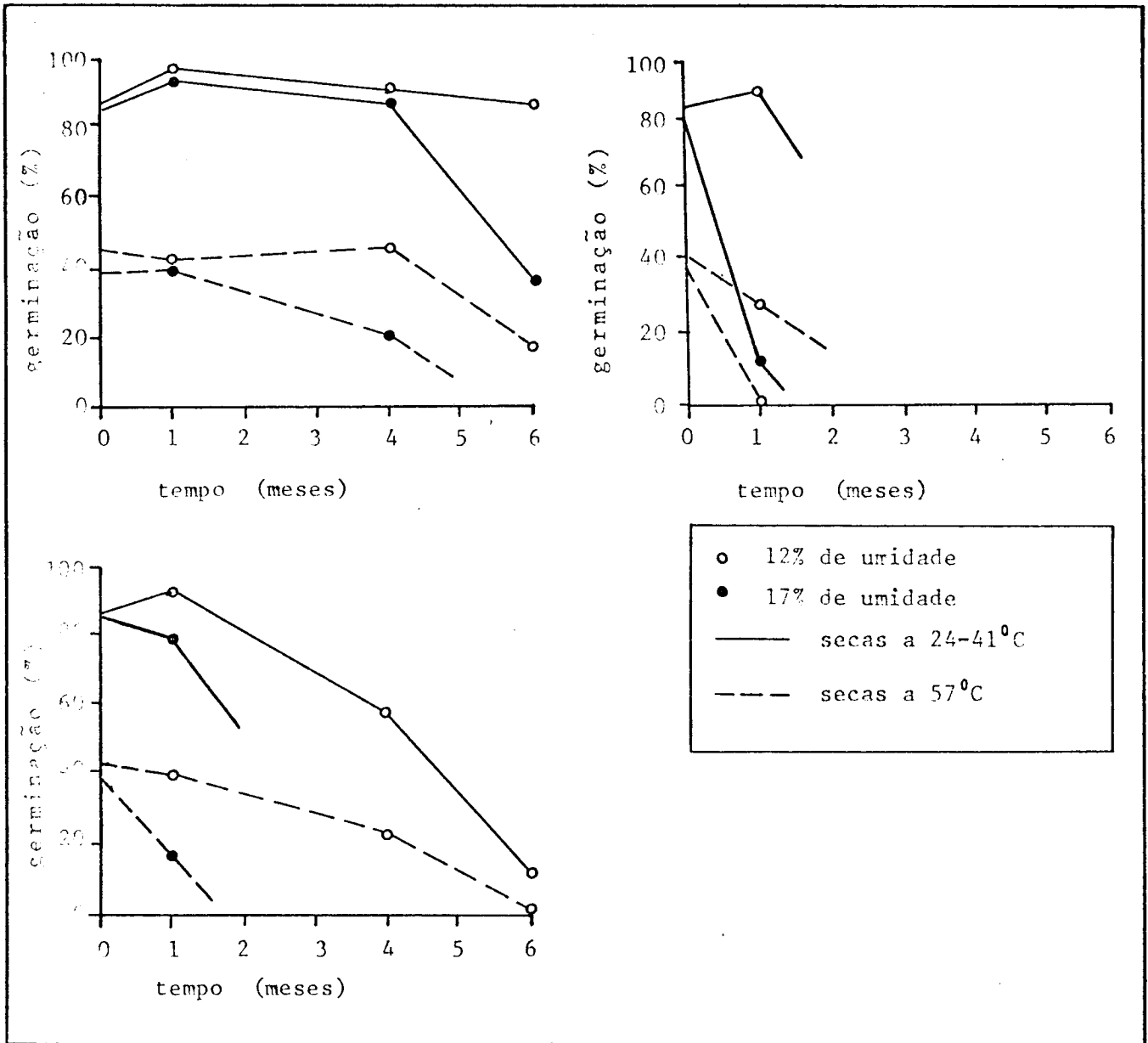


Figura 7 - Influência da temperatura de secagem na germinação de sementes de soja durante 6 meses de armazenamento, sob tres diferentes temperaturas. Fonte: White et alli (108).

madamente 12% de germinação para as que foram secas com temperatura entre 24 e 41°C e 2% para as que foram secas com temperatura de 57°C. Assim, condições mais severas de armazenamento contribuíram mais significativamente para a queda da germinação de sementes de soja do que propriamente os danos causados pelo excesso de calor.

Villalobos e Villa (104) indicam que para sementes de soja, variedade Santa Rosa, o efeito da secagem excessiva anterior à fase do armazenamento é notoriamente manifestado na umidade de 7,8%, mantidas a 20°C durante 2 meses. Entretanto, para temperaturas de armazenamento entre 30 e 38°C, sementes com, em média, 10,6% de umidade apresentaram maiores quedas no vigor e germinação do que sementes a, em média, 7% de umidade, levando os autores à conclusão de que para temperaturas de armazenamento mais altas a deterioração de sementes de soja mostra-se mais sensível ao teor de umidade que à supersecagem (Quadro 13).

Watson (106) critica em termos "temperatura máxima permitível" e "umidade relativa mínima" que não sejam acompanhados do tempo de exposição das sementes. Citando Levit (1956), o autor comenta que os danos causados pelo calor são uma função da temperatura e tempo de permanência nesta temperatura e que o logarítmo dos danos térmicos varia inversamente com o tempo de exposição. Fazendo uma analogia com a curva de destruição de bactérias, pela similaridade e pelo conceito da reação de primeira ordem que ambas encerram, Watson afirma que o termo danos térmicos deveria ser entendido como a percentagem de alterações causadas, num dado tempo, à temperatura do tratamento.

Nellist & Hughes (67) citam diversos autores que propõem equações que quantificam, dentro das condições próprias de cada expe

rimento, a perda da qualidade fisiológica de sementes, com diferentes teores de umidade, quando sujeitas a altas temperaturas de secagem e tempos de exposição em situações estáticas, isto é, em recipientes herméticos, onde não ocorre adsorção ou desorção através da semente. Entretanto, existe uma certa controvérsia entre a apresentação de resultados de germinação de sementes quando sujeitas a altas temperaturas em situação estática ou em situação dinâmica. Enquanto que os resultados para aquecimento sem evaporação da água do produto geralmente confirmam os encontrados pelos autores citados por Nellist & Hughes, resultados obtidos em experimentos onde houve processo de evaporação apresentaram danos que causaram um aumento no número de grãos que germinaram em condições anormais. Este fato foi correlacionado por Nellist & Hughes como resultado a) do gradiente de umidade que ocorre no interior da semente pela evaporação, podendo ocasionar danos às membranas e b) a concentração de umidade resultante nos tecidos mais externos. Os mesmos autores comentam que outros testes demonstraram o inverso, levando-os a concluir que, nestes casos, a remoção de umidade das sementes que estavam sendo secas ajudou a manter sua temperatura muitos graus abaixo que o aquecimento médio nos estágios iniciais e assim diminuiu o tempo total sujeito à máxima temperatura. No aquecimento hermético, o calor que poderia estar sendo dissipado como calor latente permanece no interior da semente.

Na secagem em camadas delgadas não há influência do fluxo de ar que as atravessa, uma vez que o processo está sendo controlado pela migração de umidade do interior à superfície do grão. Neste caso, o potencial de secagem depende da temperatura de bulbo seco do ar e da temperatura da superfície do grão, uma vez que estas variáveis é que vão determinar a pressão de vapor da água do ar de

secagem e a pressão de vapor da água na superfície do produto. Assim, quanto maior a temperatura do ar, maior será a diferença entre as pressões de vapor e, conseqüentemente, a secagem será mais rápida (11, 34, 67).

Quadro 13. Influência da secagem na germinação de sementes de soja, variedade Santa Rosa, após a operação e após 2 meses de armazenamento a 3 diferentes temperaturas*

temperatura de armazenamento (°C)	teor de umidade após secagem (%)	cond. iniciais**		após 2 meses armazen.	
		germinação (%)	vigor (%)	germinação (%)	vigor (%)
20	7,8	94	84	88	61
	10,3	92	78	88	64
	13,7	93	75	84	52
	17,9	93	65	77	36
30	7,2	94	84	81	60
	10,8	92	78	78	51
	13,4	93	75	70	12
	19,4	93	65	-	-
38	6,9	94	84	77	58
	10,4	92	78	30	-
	13,4	93	75	-	-
	19,2	93	65	-	-

* teor de umidade antes da secagem: 23,7%.

temperatura de secagem: 37°C

umidade relativa de secagem: 43%

** condições após a secagem e iniciais para o armazenamento.

Fonte: Villalobos e Villa (104).

3.4.4.2. Secagem em silo em camadas grossas.

Durante a secagem em silo com camadas grossas de sementes, o ar flue através destas desde a base até o topo do silo. Supondo um processo adiabático e como resultado das transferências de calor

e massa entre o ar e as camadas mais inferiores, este tende a ganhar umidade, tendo sua temperatura diminuída até um ponto que se satura completamente, atingindo a de bulbo úmido correspondente às condições de entrada no silo. Embora na prática possa existir alguma troca adicional de calor entre o ar e o grão e o sistema e o ambiente que o envolve, o ar tenderá a sair do ponto de saturação com temperatura próxima a sua temperatura de bulbo úmido (11, 67).

A partir do ponto que atinge a saturação o ar não tem mais capacidade de secar as sementes. À medida que as primeiras camadas vão sendo secas, caracterizando-se por apresentarem teor de umidade em equilíbrio com as condições de entrada do ar, o ponto onde o ar se satura vai se elevando através da camada grossa, criando o que se denomina de frente de secagem. Sob condições fixas do ar de entrada e com teor inicial das sementes uniforme em todo o silo, a frente de secagem tem espessura e velocidade constantes (67, 98). Como resultado, as várias camadas delgadas que constituem a massa total das sementes ficam sujeitas a diferentes condições de temperatura e umidade à medida que se processa a secagem. Durante grande parte do tempo total da operação, as camadas superiores permanecem com seu teor de umidade inalterado, podendo ocorrer, inclusive, reumidificação (102).

O sucesso da operação de secagem em camadas grossas estacionárias, em termos da obtenção de um produto de boa qualidade, resume-se nas condições pelas quais se sujeitam as sementes das camadas superiores do silo (67, 102, 103).

Sob temperatura do ar de entrada ao silo constante, altura da camada e teor de umidade inicial da semente também constantes, o aumento da vazão de ar proporciona um aumento da velocidade da frente

te de secagem e, conseqüentemente, diminui o tempo em que as sementes das camadas superiores permanecem sob condições adversas (11, 102, 103).

Para temperaturas do ar de secagem acima de 16°C e umidades relativas entre 40 e 75%, sementes de soja podem ser secas, em camadas de 1,2m, com fluxos de ar entre 2,2 e $3,3\text{m}^3/\text{min. ton. de produto úmido}$, quando o teor de umidade inicial estiver abaixo de 16%. Para teores de umidade iniciais acima de 16%, com as demais condições inalteradas, os fluxos de ar sugeridos situam-se entre 3,3 e $6,6\text{m}^3/\text{min. ton. de produto úmido}$ (17, 71).

Desde que a secagem a baixas temperaturas é necessariamente um processo lento, para manter a qualidade das sementes das camadas superiores do silo, ainda úmidas, é necessário mantê-las tão resfriadas quanto possível. Este princípio é a base do uso de resfriamento para armazenamento de grãos com alta umidade, mas é igualmente importante à operação do secador a baixas temperaturas (2).

Teores iniciais de umidade muito altos, principalmente quando associados com excessivos aumentos na temperatura do ar de secagem, contribuem para uma maior queda na qualidade fisiológica da semente, decorrente do aumento da taxa respiratória do produto e do desenvolvimento de fungos a um nível indesejável (14, 57, 58).

Saul e Lind (1958), citados por Nellist e Hughes (67) observaram uma alta correlação entre o crescimento de fungos e a evolução de CO_2 durante a secagem em camadas espessas de milho. A contagem de fungos em grãos secos desde 28 e 25% de umidade foi 8 vezes superior à daqueles secos desde 22 e 19%. Medidas feitas durante a secagem mostraram que as umidades relativas do ar intersticial dos grãos mais úmidos foram iguais ou próximas à saturação, enquanto que para os grãos menos úmidos foi de 96% a 22% de teor de umida

de e de 87% a 18,6% de teor de umidade. Correspondente ao acréscimo de 8 vezes no desenvolvimento de fungos, houve um acréscimo de 6 vezes na evolução de CO_2 . A quantidade de calor gerada pelo processo metabólico contribuiu em direção a um aumento na taxa de secagem, mas somente a um nível inaceitável, uma vez que também foi responsável por maior contaminação de fungos.

As diferenças aparentemente pequenas entre as altas umidades relativas e a grande variação no teor de umidade das sementes refletem a influência das curvas de umidade de equilíbrio e a sua importância na secagem a baixas temperaturas. Ao mesmo tempo que para umidades relativas acima de 80% o teor de umidade de sementes de soja tende a aumentar consideravelmente (Figura 8), em tais condições o desenvolvimento de fungos é bastante acelerado. Sob temperaturas entre 20 e 25°C, micélios de fungos aparecem nas sementes após 3, 9, 175 e 961 dias quando sujeitas a umidades relativas de 90, 80, 71 e 67%, respectivamente (67).

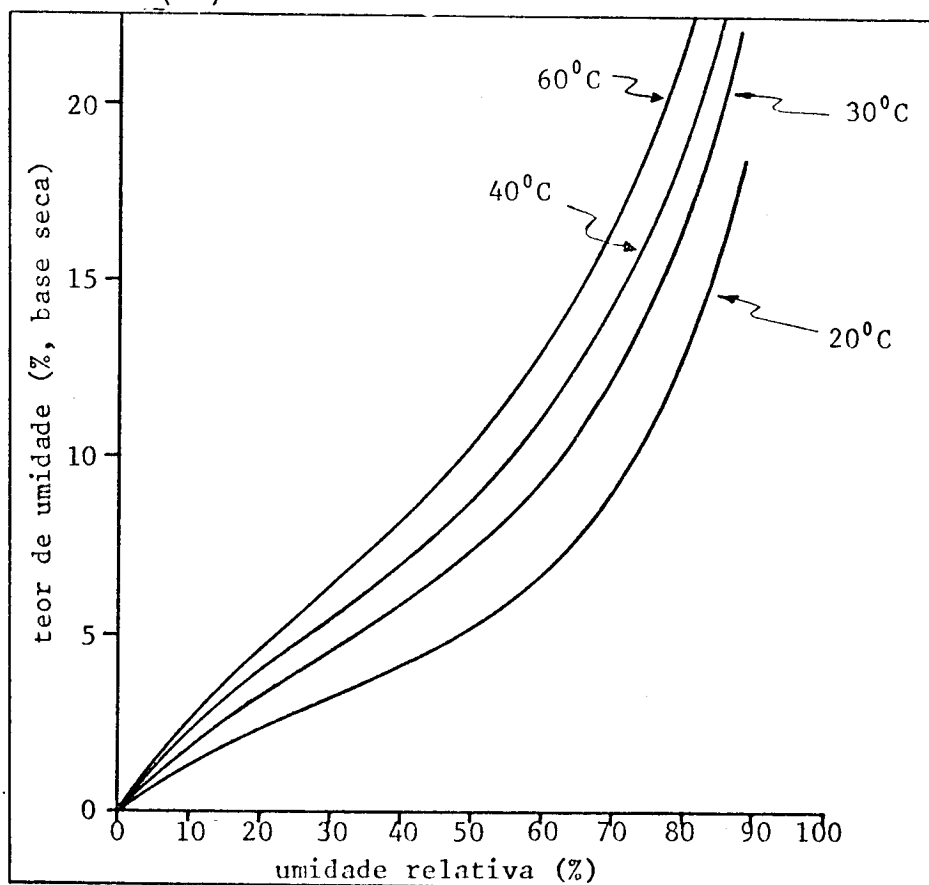


Figura 8, Curvas de teor de umidade de equilíbrio para sementes de soja, variedade Santa Rosa, Fonte: Rossi & Roa (85),

Com base nos resultados obtidos em sementes de soja, variedade Santa Rosa, sujeitas a condições estáticas de temperatura e umidade (Quadro 13), Villalobos e Villa (104) indicam o seguinte modelo para a previsão da queda de vigor e germinação na secagem a baixas temperaturas em silos estacionários:

Germinação:

$$G_i = 1 - \left\{ 0,4123 \left[\exp(0,0002907 t_{eq}) - 1 \right] + 0,00005842(t_{eq})^{0,8225} \right\} 1. \quad 1.$$

onde G_i = índice de germinação = % germinação/% germinação inicial

$$t_{eq} = \text{tempo equivalente} = \frac{t}{M_M M_T}, \quad \text{tempo em horas} \quad 2.$$

$$M_M = 0,95 + 0,054M, \quad \text{para umidades } M < 10,9\%, \text{ base úmida} \quad 3.$$

$$M_M = 232,0718(M)^{-2,0992}, \quad \text{para umidades } M \geq 10,9\%, \text{ base úmida.} \quad 4.$$

$$M_T = 4,03 - 0,0101T, \quad \text{para temperaturas } 20 \leq T \leq 30^\circ\text{C} \quad 5.$$

$$M_T = 1 + \left[0,41308 - 0,24152(\ln M) + 0,002075(M)^{1,5275} \right] (T-30) \quad \text{para } 38 \geq T > 30^\circ\text{C}. \quad 6.$$

Vigor:

$$V_i = 1 - \left\{ 0,0015196 \left[\exp(0,0039540 t'_{eq}) - 1 \right] + 0,000366435 t'_{eq} \right\} \quad 7.$$

onde V_i = índice de vigor = % de vigor/% de vigor inicial

$$t'_{eq} = \text{tempo equivalente} = \frac{t}{M'_M M'_T}, \quad \text{tempo em horas} \quad 8.$$

$$M'_M = 1,482 + 0,00811M, \quad \text{para umidades } M < 10,9\%, \text{ base úmida} \quad 9.$$

$$M'_M = 251,68(M)^{-2,1273}, \quad \text{para umidades } M \geq 10,9\%, \text{ base úmida} \quad 10.$$

$$M'_T = 1 + \left[0,37445 - 0,20348(\ln M) + 0,00025984(M)^{2,02058} \right] (T-30) \quad \text{para } 20 \leq T \leq 38^\circ\text{C},$$

Os autores obtiveram boa correlação entre os resultados simulados pelo modelo e os valores experimentais de germinação e vigor durante a secagem de 780 Kg. de sementes de soja, variedade Santa Rosa, desde 20 até 9,0% de umidade, numa camada de 0,90m de espessura. Foram empregados $6\text{ m}^3/\text{min. ton.}$ de ar com temperatura e umidade relativa, em média, 35°C e 45%, respectivamente. Ao final da secagem, que foi conseguido após 288 horas, a germinação e o vigor, inicialmente em 92 e 76%, respectivamente, caíram para 86 e 68%. Os valores simulados pelo modelo, ao final da secagem, foram 9,4% para o teor de umidade das sementes, 88% para a germinação e 72% para o vigor.

Como resultado da utilização a) de um modelo de secagem em camadas grossas estacionárias, adaptado do modelo de Thompson *et alli* (98), b) do modelo de deterioração de Villalobos e Villa (104) e c) de um critério de deterioração de queda de 90 para 85% na germinação, Villa *et alli* (103) obtiveram, através de simulações matemáticas, as vazões mínimas do ar para secagem de sementes de soja em silo, como função da temperatura do ar à entrada da camada inferior e do teor de umidade inicial das sementes (Figura 9).

Os autores observam que a necessidade do aumento da vazão de ar à medida que sua temperatura for mais alta, prende-se ao fato de que as camadas superiores deterioram-se mais rapidamente quanto maior a temperatura do ar que as atravessa. O aumento da vazão de ar, assim, tem como finalidade diminuir o tempo de secagem (Figura 10), permitindo que a germinação das sementes das camadas superiores diminua somente dentro do critério de deterioração adotado. Portanto, com temperatura do ar de 26°C à entrada da camada grossa inicialmente com 18% de umidade, a vazão mínima a ser adotada é $4,8\text{ m}^3/\text{min. ton.}$ de produto úmido. Como consequência, o tempo de secagem

previsto é de 17,5 dias. Se a temperatura do ar for maior (30°C , por exemplo), a vazão mínima também será maior ($6,5 \text{ m}^3/\text{min. ton.}$), porém, o tempo de secagem previsto diminuirá para 13 dias.

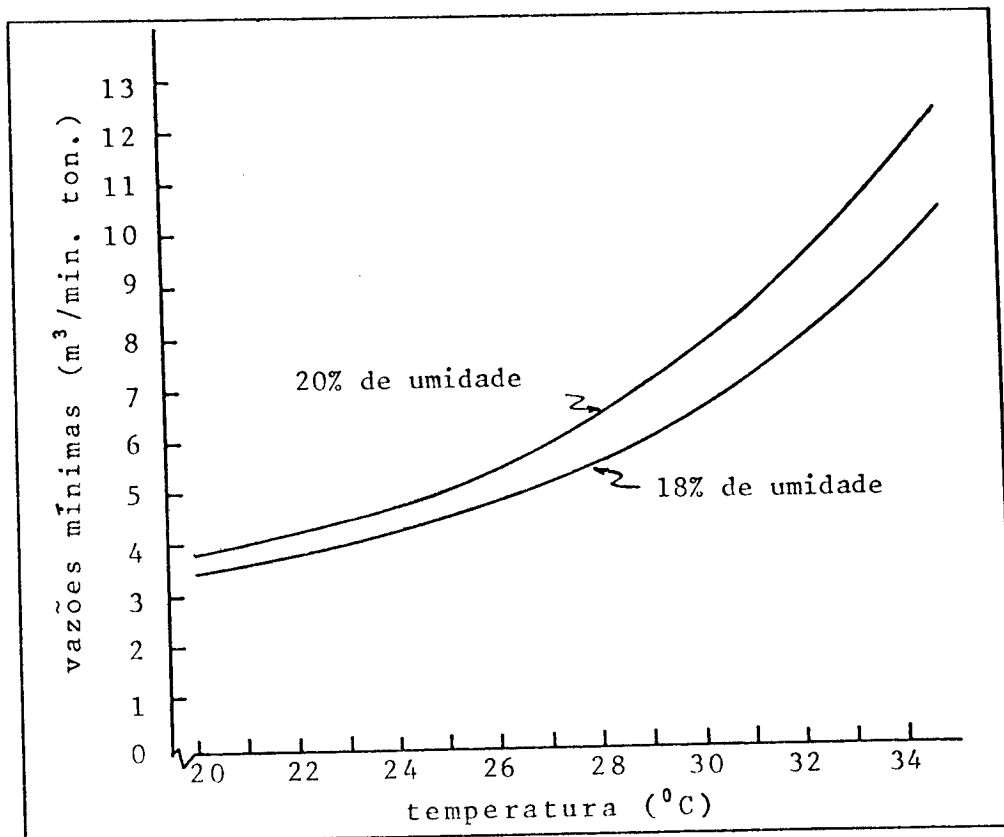


Figura 9. Vazões mínimas de ar na secagem de sementes de soja em silo.

Fonte: Villa et alli (103).

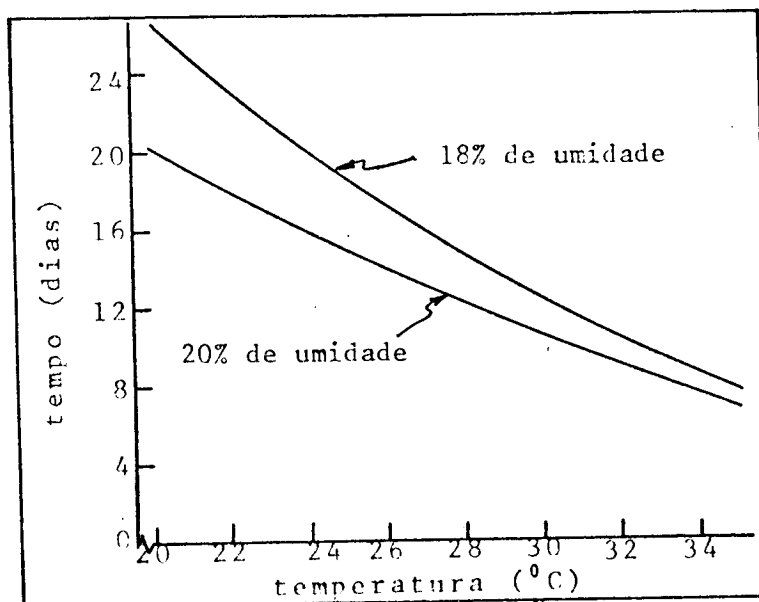


Figura 10. Tempo de secagem em função da temperatura do ar e do teor de umidade das sementes de soja.

Fonte: Villa et alli (103).

Na secagem de sementes em silo com ar forçado, tanto em condições ambientais como com pequeno aquecimento complementar, Villa & Roa (102) aconselham deixar ligado o ventilador ininterruptamente, mesmo durante o período noturno, caracterizado por baixas temperaturas e altas umidades relativas. Durante o período diurno a secagem se processa normalmente, com a frente de secagem avançando das camadas inferiores às superiores. Durante o período noturno o ar deixa grande parte de seu vapor de água nas camadas inferiores mais secas, umidificando-as parcialmente. Como resultado do aumento da capacidade de secagem ao sair das camadas inferiores, o ar promoverá a secagem das camadas superiores, tornando, assim, uma secagem mais uniforme em toda a massa dos grãos ao final da operação. Tal técnica tem, também, a finalidade de resfriar as sementes que, ainda úmidas, vão se deteriorar menos.

Recomenda-se não secar sementes de soja com teor de umidade acima de 20% de umidade inicial, uma vez que as vazões de ar seriam muito grandes, e a altura máxima do produto no interior do silo deve estar limitada em 5m. Acima destes limites, a potência exigida pelo motor do ventilador torna o sistema antieconômico e, do ponto de vista energético, a energia total necessária (elétrica + mecânica) torna-se cada vez mais significativa frente à energia térmica necessária à secagem (85).

Dentro dos limites da operação de um sistema de secagem em silo estacionário, superdimensionando-se o ventilador e o motor durante a secagem e conectando-os ao sistema de distribuição do ar, adiciona-se calor ao ambiente, seja através da fricção nas hélices e paredes do ventilador, seja pelo calor que é liberado do motor. Um pequeno aumento na temperatura do ar já auxiliará a operação da secagem. Tal técnica, dependendo das condições do ar ambiente e das

vazões utilizadas, pode ser responsável por acréscimos da ordem de 3 a 10°C na temperatura deste (55).

3.4.5. Durante o armazenamento

Os dados fornecidos pela literatura com referência à queda da qualidade fisiológica de sementes durante o armazenamento podem, às vezes, ser confundidos com os obtidos em situações onde o produto fica submetido a condições típicas de secagem, principalmente naquelas caracterizadas pela secagem a baixas temperaturas.

Embora temperaturas superiores a 35-40°C, para o caso de sementes de soja, estejam frequentemente associadas com a secagem e temperaturas inferiores a 20-25°C estejam geralmente associadas com o armazenamento, existe uma faixa intermediária que ora está associada a um ora a outro processo. Numa secagem em silo estacionário, com camada de 0,90m de espessura, enquanto que as camadas inferiores, já secas a 9,4% de umidade, estão em contato com ar a aproximadamente 35°C, as sementes das camadas superiores, ainda com 20,3% de umidade, estão em contato com ar a aproximadamente 26°C (104). Durante o armazenamento, a geração de calor proveniente da respiração dos grãos e dos microorganismos neles presentes pode sujeitar o produto a temperaturas entre 35-40°C (14, 56). Em operações onde as condições são tais que permitem apenas uma reduzida atividade metabólica e que o calor liberado é retirado do silo, temperaturas abaixo de 15-20°C geralmente são encontradas (65, 86).

Não obstante, o que geralmente distingue o efeito das condições de um ou de outro processo sobre a qualidade das sementes é o período total de exposição sob tais condições. Assim, os efeitos da secagem em sementes de soja estão associados com períodos que va

riam desde minutos (para o caso da secagem a altas temperaturas) até 1 ou 2 meses (para o caso de baixas temperaturas), enquanto que os períodos associados ao armazenamento variam desde 3-4 meses até 8-10 anos (17, 32, 104).

A qualidade fisiológica de sementes pode ser afetada por vários fatores separados mas que interagem entre si durante o período de armazenamento, incluindo a condição física inicial da semente, teor de umidade, temperatura, umidade relativa, condição gasosa da atmosfera que a envolve e tratamento químico (95).

Delouche (17) comenta que o potencial de armazenamento é grandemente influenciado pelo grau no qual as sementes já estavam inicialmente deterioradas. Sementes de soja, sob idênticas condições de armazenamento, porém com diferenças de apenas 8% na germinação inicial (90% para o lote A e 82% para o lote B), após 6 meses apresentaram diferenças na germinação de 29% (91% para o lote A e 62% para o lote B). Após 9 meses a diferença subiu para 63% (86 e 23% para os lotes A e B, respectivamente) e ao final de 18 meses a diferença atingiu 71%, quando todas as sementes do lote B já estavam mortas.

De todos os fatores que afetam a viabilidade de sementes durante o armazenamento, seu teor de umidade é o mais importante (17, 95). Esta variável é estabelecida de acordo com a temperatura e umidade relativa do ar que envolve as sementes (Figura 8).

De acordo com Toole & Toole (1946), citados por Grabe (32), a germinação de sementes de soja com teores de umidade entre 5,5 e 9,4% foi mantida acima de 80% durante um período superior a 10 anos quando mantidas a 10°C; 5 anos a 20°C e 1 ano a 30°C (Quadro 14). Em contraste, a germinação de sementes com 13,9% de umidade caiu abaixo de 80% dentro de 5 anos a 10°C, 2 anos a 20°C e somente 6 meses

quando mantidas a 30°C.

Os processos biológicos que com maior gravidade envolvem a queda da qualidade fisiológica de sementes armazenadas são a respiração e o aquecimento da massa dos grãos, ocasionados tanto pelo metabolismo da própria semente como pelos microorganismos nelas presentes (13, 14, 58).

Quadro 14. Influência da temperatura e teor de umidade na germinação de sementes de soja durante o armazenamento

temperatura (°C)	germinação (%)									
	período de armazenamento (meses)									
	1	5	12	24	37	48	61	72	96	120
sementes armazenadas a 18,0% de umidade										
30	14	0								
20	93	85	0							
10	97	96	88	1	0					
2,2	-	98	97	97	92	81	30	0		
-10	-	97	96	99	94	95	93	89	70	17
sementes armazenadas a 13,9% de umidade										
30	98	0								
20	99	98	93	0						
10	97	95	98	96	92	88	47	39	19	0
2,2	-	94	95	97	97	96	97	98	95	90
-10	-	96	93	96	-	98	97	98	98	98
sementes armazenadas a 9,4% de umidade										
30	-	96	87	0						
20	-	97	99	96	94	89	90	70	47	0
10	-	93	95	98	93	99	92	96	93	94
2,2	-	94	93	94	96	96	97	97	94	95
-10	-	96	93	96	-	94	99	99	95	92

Fonte: Toole & Toole (1946), citados por Grabe (32).

Milner & Gedds (58) afirmam que em sementes de soja com teor de umidade inferior a 14%, isentas de quaisquer danos anteriores ao armazenamento, somente a respiração da semente é envolvida. A energia liberada pela respiração é aparentemente muito baixa para promover o aquecimento do lote armazenado a granel. Entretanto, mesmo abaixo desse nível ocorre perda da viabilidade, principalmente quando são armazenadas a temperaturas relativamente altas (Quadro 15).

Quadro 15. Efeito do conteúdo de umidade na taxa respiratória e na germinação de sementes de soja mantidas a 37,8°C*

umidade (%)		taxa respiratória (mg CO ₂ /100g. mat. seca/dia)	germinação (%)
inicial	final		
11,8**	-	-	94
11,8	11,9	0,5	85
13,0	13,2	0,9	74
13,9	14,0	0,9	60
16,0	16,0	5,1	15
18,3	18,3	73,3	0

* medidas efetuadas no 11º dia de exposição às condições do experimento;

** amostra original (controle).

Fonte: Milner & Gedds (58).

De outro lado, Christensen & Kaufmann (14) indicam que os fungos de armazenamento podem invadir vagarosamente sementes de soja mesmo quando armazenadas a 12-12,5% de umidade. Entre 12,5-13,0% de umidade, a invasão pode não ocasionar problemas com o processamento industrial, mesmo sob temperaturas adequadas para o desenvolvimento de

fungos, dentro do prazo de 1 ano, embora possam sofrer alguma perda de viabilidade.

Dorworth & Christensen (20) comentam que a soja com teores de umidade acima de 13% já permite uma mais rápida invasão dos fungos de armazenamento (Quadro 16) e esta invasão é seguida por um decréscimo ainda maior na qualidade fisiológica da semente (Figura 11).

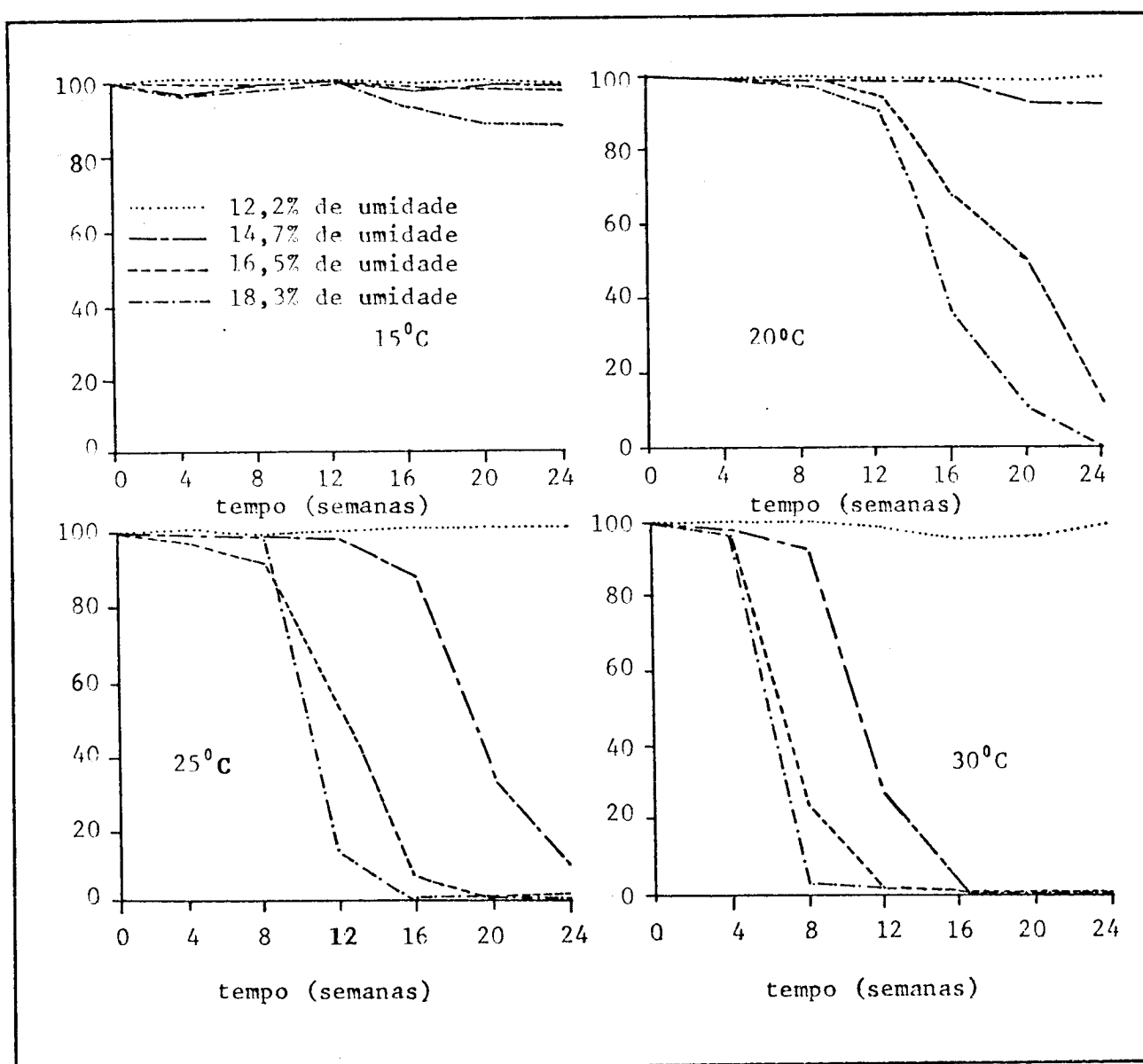


Figura 11. Influência da temperatura, período de exposição e teor de umidade na germinação de sementes de soja.

Fonte: Dorworth & Christensen (20).

QUADRO 16. Influência do teor de umidade e temperatura na invasão de fungos em sementes de soja durante o armazenamento*

temperatura (°C)	umidade (%)	sementes invadidas com fungos (%)						após:		
		8 semanas			12 semanas			20 semanas		
		Alt.	A. gl.	Pen.	Alt.	A. gl.	Pen.	Alt.	A. gl.	Pen.
15	12,1	18	4	4	26	0	1	16	18	0
	14,7	23	2	1	22	2	1	23	10	10
	16,5	20	4	3	26	57	0	18	68	2
	18,3	22	73	45	16	91	66	17	78	65
20	12,1	24	12	0	14	2	0	14	73	0
	14,7	24	2	2	17	13	0	5	28	7
	16,5	20	77	0	22	97	3	11	94	0
	18,3	13	89	65	9	91	97	0	69	95
25	12,1	20	0	0	14	5	0	8	45	3
	14,7	17	1	0	3	53	0	0	95	0
	16,5	17	75	0	26	97	0	0	100	5
	18,3	15	89	78	4	92	99	0	98	98
30	12,1	6	18	2	0	0	0	0	3	0
	14,7	0	16	2	2	100	1	0	98	0
	16,5	5	93	4	0	100	0	0	100	4
	18,3	7	96	85	0	93	100	5	88	100

* Alt.: Alternaria; A. Gl.: Aspergillus glaucus; Pen.: Penicillium.

Fonte: Dorworth & Christensen (20).

As espécies de fungos predominantes no armazenamento de soja são Aspergillus, Penicillium, Alternaria e Fusarium. Destas, a principal é a da espécie Aspergillus, destacando-se as do grupo A. Glaucus por poder se desenvolver em soja com teor de umidade de 14% ou mais, mesmo após 10 meses (48), e A. restrictus que é o menos exigente com respeito às condições do armazenamento, podendo se desenvolver onde a umidade relativa for superior a 65% (95). A. flavus, importante também por ser o responsável pela produção da aflatoxina; A. ochraceus, A. niger e A. fumigatus são também encontrados em soja armazenada, porém menos frequentemente (97).

Dentro da faixa de 65 a 95% de umidade relativa, a temperatura ótima para o desenvolvimento dos fungos de armazenamento situa-se entre 30-32°C. A 16°C alguns da espécie Aspergillus crescem 10 a 20 vezes mais vagarosamente que à temperatura ótima. Por outro lado, temperatura por volta de 55°C geralmente é referenciada como a máxima permissível (13, 14, 45, 59).

Com respeito à proliferação de insetos em sementes armazenadas, Sitophilus oryzae, um dos mais comuns, requerem apenas 30 dias a 27°C para que seja completado seu ciclo enquanto que a 16°C são necessários 4 a 5 meses (45). De modo geral, Delouche (17) afirma que a atividade de insetos diminui consideravelmente quando a umidade relativa for menor que 50%. Taylor (95) estabelece que não há qualquer atuação de insetos quando a temperatura for menor que 10°C e as umidades relativas situarem-se abaixo de 40%, e que os danos promovidos por estes à semente armazenada incluem o aumento da temperatura e deposição de água nos grãos devido seu metabolismo, da nificação ou morte do embrião e a introdução de novos fungos e bactérias.

Apesar de sementes de soja com teores de umidade abaixo de 9-10% apresentarem atividade metabólica extremamente reduzida durante o armazenamento e não permitindo, também, o desenvolvimento de fungos e insetos a um nível significativo (36), nas operações subsequentes de seu pré-processamento são susceptíveis a danos em sua estrutura devido a injúrias mecânicas (17). A teores de umidade mais baixos ainda, Taylor (95) comenta que a estrutura da membrana celular pode ser destruída por danos provenientes da autooxidação dos lipídeos. Sob reduzidos teores de umidade, quando armazenadas por vários anos, as sementes podem originar plantas com grande número de mutações e têm sido aumentadas as possibilidades de que a perda da viabilidade de sementes armazenadas sob tais condições pode ser parcialmente explicada pela acumulação de mutações nocivas (80). O número de aberrações dos cromossomas visto na divisão celular na ponta da radícula durante a germinação tem sido sugerido como uma forma de medir a acumulação de danos causados à semente extremamente seca, durante um extenso período de armazenamento, conforme Abdala e Roberts (1968), citados por Villiers & Edgcumbe (105).

A prática da utilização de inseticidas e fungicidas durante o armazenamento tem se mostrado eficiente para evitar uma queda acentuada na germinação de sementes de soja (97). Porém, dependendo do nível de deterioração inicial, ocasionado principalmente por injúrias mecânicas provenientes de fases anteriores ao armazenamento, a utilização destes compostos tem contribuído para afetar negativamente o metabolismo da semente durante o plantio. Se as doses forem excessivas, ou o tempo de exposição for muito prolongado ou mesmo quando a posterior aeração não for adequada, os danos podem ser maiores ainda, podendo, inclusive, matar completamente a semente ainda no armazenamento. Sob tais condições, os prejuízos são ainda maiores.

res à medida que aumenta o teor de umidade da semente (43, 95).

Com respeito ao controle da atmosfera na manutenção da viabilidade de sementes armazenadas, Milner e Geddes (57) comentam que a temperaturas entre 25 e 45°C, com sementes de soja a 18,3% de umidade, a taxa de aeração, que controla a relação entre o oxigênio e o dióxido de carbono presentes, influencia marcadamente a taxa respiratória das sementes e dos microorganismos nelas presentes. A taxa mais alta ocorre à 40°C e a menor à 45°C, onde a inibição térmica é a responsável. Entre 35 e 40°C, quando a aeração for insuficiente de tal forma que o conteúdo de dióxido de carbono exceda em 12-14%, diminui-se o desenvolvimento de fungos e a taxa respiratória é grandemente reduzida.

Para longos períodos de armazenamento, Hyde (1963), citado por Taylor (95), considera que o processo que consiste em manter o ambiente hermeticamente fechado, sem reposição de ar, somente torna-se satisfatório para manter a viabilidade das sementes quando estas apresentarem teores de umidade 1 a 2% inferiores aos teores normais quando armazenadas em condições ambientais não herméticas. Nestas condições, a ausência de oxigênio é benéfica e, em termos gerais, os resultados de germinação em sementes armazenadas sob condições herméticas, inicialmente com ar na atmosfera, estão entre aqueles obtidos sob condições constantes do ar durante o armazenamento e sob condições constantes de nitrogênio, sendo este último, dentre os três métodos, o que previne com maior segurança a queda da qualidade de sementes em atmosfera controlada.

A germinação de sementes de soja armazenadas a 25 e 35°C em 4 tipos de recipientes, respectivamente, latas hermeticamente fechadas, latas com cobertura de plástico, sacos de fertilizante com

revestimento de plástico e sacos de pano, a 3 níveis de umidade, diminuiu em todos os tratamentos com o tempo de exposição. Tal diminuição foi acompanhada pelo concomitante aumento de ocorrência de Bacillus subtilis (Figura 12). Após 9 meses, sementes inicialmente com 8,6% de umidade (base seca) apresentaram germinação mais alta e menor ocorrência do B. subtilis do que as inicialmente a 10,7 e 12,5% (base seca), para qualquer uma das duas temperaturas utilizadas. A germinação diminuiu e a ocorrência de B. subtilis aumentou à medida que o recipiente variou desde latas herméticas até sacos de pano (96).

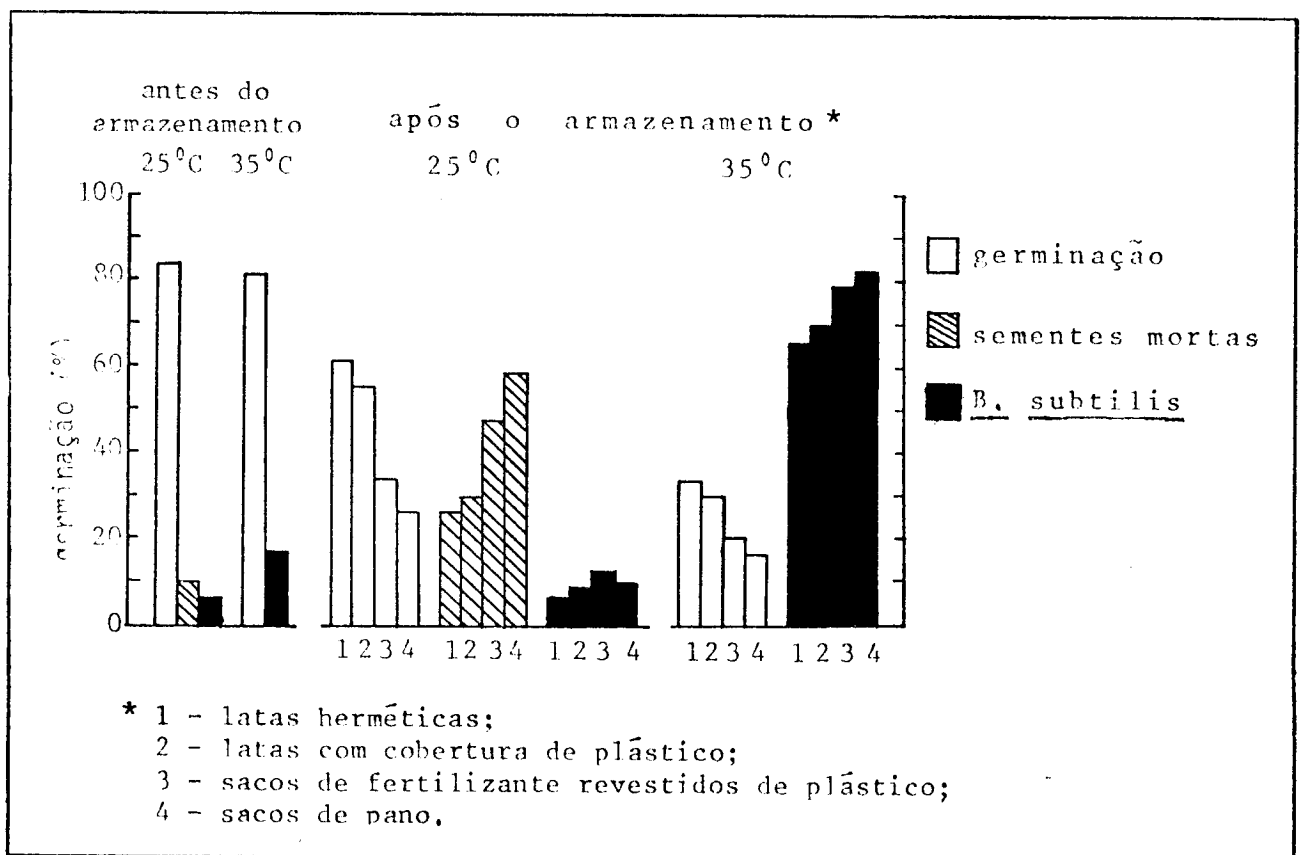


Figura 12. Queda de germinação e ocorrência de B. subtilis em sementes de soja armazenadas em 4 diferentes recipientes.

Fonte: Tenne et alli (96).

Para a maior parte das sementes comercialmente importantes, em armazenamento ao ar ambiente, Harrington (36) sugere a seguinte regra geral:

1. Para cada ponto de umidade reduzido o período de armazenamento é dobrado.
2. Para cada 5°C de diminuição na temperatura de armazenamento, a vida da semente é dobrada.

O autor acrescenta que os efeitos da umidade e temperatura são independentes. Assim, se os dois efeitos ocorrem concomitantemente, o período de viabilidade da semente é multiplicado por 4.

3.5 - Objetivos e operação do sistema de aeração durante o armazenamento

Apesar do teor médio de umidade de um lote de sementes estar dentro da faixa de segurança para o seu armazenamento, alguns pontos podem apresentar valores acima do máximo permissível. Esses pontos mais úmidos são favoráveis à aceleração do metabolismo das sementes que os compõem e aceleram, também, o desenvolvimento dos fungos normalmente presentes. A água e a energia daí liberadas serão usadas para aumentar ainda mais o conteúdo de umidade das sementes próximas aos pontos considerados e aumentar a temperatura dos arredores, criando condições ainda mais favoráveis à deterioração, alastrando-se cada vez mais no interior do lote. O metabolismo dos fungos pode aumentar a temperatura até aproximadamente 55°C, a qual é a máxima que pode ser suportada pelo A. flavus e A. candidus, as duas espécies que inevitavelmente estão associadas com as causas de aquecimento de sementes armazenadas. O aumento da umidade pode ser tal que propicia o desenvolvimento de bactérias termofílicas que po

dem aumentar a temperatura da massa dos grãos a valores próximos a 70-75°C (14).

A partir daí, inicia-se o processo de aquecimento espontâneo dos grãos, causados, principalmente, pela natureza exotérmica das reações químicas que ocorrem sob tais condições, das quais as interações proteína-açúcar (reação de Maillard) são a maior causa. A temperaturas próximas de 100°C, os grãos já se tornam uma massa compacta de coloração bem escura (59). Christensen & Kaufmann (14) comentam que persistindo tais condições, pode-se chegar ao extremo da combustão do lote.

Por outro lado, a combinação de temperaturas baixas do ar externo ao silo onde está armazenado um lote de sementes e de temperaturas mais altas encontradas na base e no centro do silo, como consequência, principalmente, do metabolismo dos grãos e dos microorganismos neles presentes, cria correntes naturais de convecção internas ao silo (Figura 13). A convecção é responsável pela migração de umidade dos grãos das camadas internas aos grãos das camadas situadas na superfície. Devido às temperaturas mais baixas das camadas da superfície, ocorre a condensação do vapor de água que está sendo transportado, ocasionando uma zona de alta umidade, sujeita à deterioração. Esta migração pode ocorrer mesmo com sementes com teor de umidade entre 12 e 13% (69)

Christensen & Kaufmann (14) mostram que sementes de soja originalmente armazenadas a 12-13% de umidade, após 3 meses as localizadas no centro da camada superficial atingiram 16-17% de umidade; após 15 meses, no mesmo local, as sementes atingiram teores de umidade entre 20 e 24%.

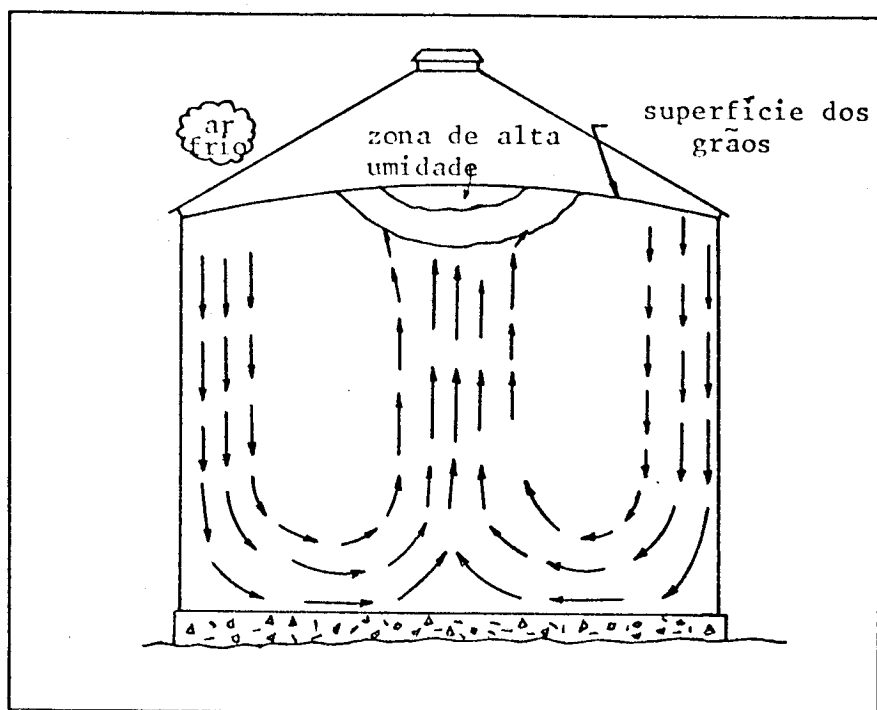


Figura 13. Correntes de convecção internas ao silo sem aeração.

Fonte: Noyes (69).

Harrington (36) cita outra situação onde pode ocorrer migração de umidade interna ao lote. É o caso de silos metálicos que recebem radiação solar somente numa das laterais. Estas, aquecidas, transferem o calor por condução às camadas de grãos mais próximas, originando, assim, transferência de calor e umidade das camadas mais quentes às mais frias.

A prática da aeração tem, assim, como finalidades principais eliminar o calor gerado pelo metabolismo dos grãos e microorganismos e uniformizar a temperatura e umidade do lote armazenado (14, 69). Além de eliminar o calor gerado, a aeração, dependendo das condições ambientais, pode diminuir ainda mais a temperatura dos grãos; com fluxos de ar superiores aos normalmente recomendados é possível reduzir o conteúdo de umidade em 1 a 1,5% (17); retira o odor desagradável proveniente da fermentação dos grãos e auxilia a prati

ca de fumigação (14).

O processo consiste basicamente em acoplar um ventilador à base ou topo do silo, insufluando ar ambiente a fluxos desde 0,1 até 1,0m³/min. ton. de produto. Fluxos de ar próximos a 1,0m³/min. ton. são geralmente utilizados quando se deseja retirar 1 a 1,5 pontos de umidade das sementes armazenadas (17). Embora se recomende efetuar a aeração somente quando a umidade relativa do ar ambiente estiver abaixo de 75% e quando a temperatura for 5,5-8,0 °C abaixo da temperatura do ponto mais quente do lote de sementes (14), a combinação destas variáveis não é facilmente encontrada em regiões tropicais ou sub-tropicais (86, 93, 95).

Valência e Teter (101) demonstraram ser possível armazenar 25 toneladas de milho a 13,8% de umidade durante 6 meses, utilizando 8 horas diárias de aeração (das 21:00 às 05:00 h), com fluxos de ar da ordem de 0,75m³/min. ton., mesmo com umidades relativas durante a operação quase sempre próximas a 100%. Sob pressão barométrica de 565mmHg, nos três primeiros meses de armazenamento, caracterizados por temperatura ambiente entre 7,2 e 9,0°C, o milho foi resfriado, em média, 2,2°C (15,9°C no início e 13,7°C ao final do 3º mês) e seu teor de umidade, ao final do 3º mês, chegou, em média, a 13,6%. Observam os autores que a pequena secagem verificada deveu-se à diferença entre as pressões de vapor da água do ar ambiente (8,7 mmHg) e da água contida nos grãos (9,2 mmHg) no início do armazenamento. Nos três meses subsequentes, mais quentes, onde a temperatura média do ar ambiente noturno variou desde 9,2 a 10,4°C e umidade relativa quase sempre próxima a 100%, o milho foi resfriado, em média, 1,1°C (15,8 para 14,7°C) e seu teor de umidade aumentou para 13,9% em média. O aumento da umidade verificado deveu-se, segundo os autores, à maior pressão de vapor da água no ar no iní-

cio do 3º mês de armazenamento (9,5 mmHg) quando comparada à pressão de vapor da água contida no milho (9,0 mmHg). Não se observou a presença de fungos nem insetos durante os 6 meses totais de armazenamento.

Com base nos resultados sobre aeração de 27 toneladas de sementes de soja a 12,7% de umidade armazenadas em silos metálicos, mediante fluxos de ar ambiente de 0,75 m³/min. ton., na região de Campinas, SP, Sartori *et alli* (86) indicam que esse processo pode ser adotado mesmo com altas umidades relativas do ar ambiente, desde que seja mantida uma diferença mínima de 6°C entre o ar e o produto armazenado.

Em regiões caracterizadas por clima quente e úmido, Stephenson (93) sugere a utilização de desumidificadores do ar ambiente a ser insuflado nos grãos. O autor empregou um equipamento frigorífico com capacidade para remover 11,3 litros de água/dia de um compartimento de 82 m³ onde permaneceram armazenadas 100 sacas de milho, com 45 kg cada uma, divididas em 2 lotes com teores de umidades iniciais de 10,5 e 14,7%. Com base na temperatura e umidade relativa ambiente de 32°C e 90%, respectivamente, o equipamento, rearranjado de tal forma que o ar ambiente atravessasse o evaporador e logo em seguida atravessasse o condensador antes de ser insuflado no compartimento, mantinha umidade relativa fixa em 55%, porém com temperaturas que variavam entre 18 e 38°C. Após 24 meses de armazenamento, o teor de umidade do milho fixou-se em aproximadamente 11% e a germinação inicial manteve-se praticamente inalterada (Figura 14). Em outro compartimento semelhante, porém sem o emprego do desumidificador, o teor de umidade do produto manteve-se entre 14-15% e a germinação, após 9 meses, já havia caído a zero. Resultados semelhantes os autores encontraram para arroz,

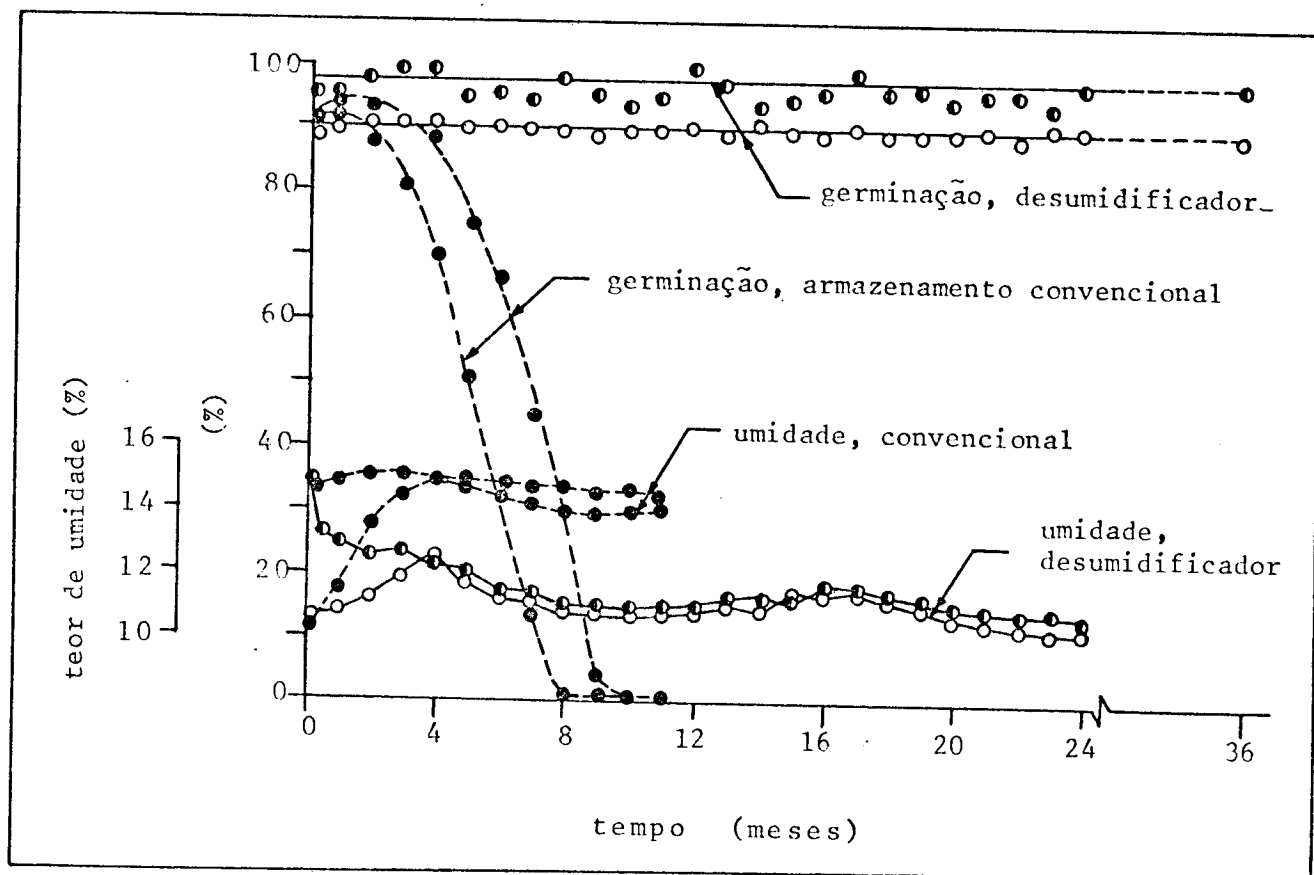


Figura 14. Curvas de germinação e teor de umidade de milho armazenado com e sem o uso de equipamento frigorífico.

Fonte: Stephenson (93).

3.6 - Secagem de grãos em silos com bomba de calor

Ao lado de diversas fontes de energia que atualmente estão sendo estudadas, a serem utilizadas em processos de secagem a baixas temperaturas, tais como elétrica, solar, biomassa, etc., a utilização de um sistema de bomba de calor para tal finalidade vem sendo proposto como uma alternativa tecnicamente viável, economicamente competitiva com secadores que utilizam resistências elétricas

e principalmente por economizar significantes quantidades de energia (40, 41, 64, 74).

O sistema (Figura 15), constituído basicamente pelos mesmos elementos de um equipamento frigorífico do tipo doméstico ou comercial, tem como finalidades a) aumentar a temperatura do ar ambiente, pela passagem deste através do condensador, durante a operação de secagem do produto úmido (41, 47) e b) diminuir a temperatura do ar ambiente, ao passar pelo evaporador, durante o resfriamento do produto armazenado (19, 65, 66).

Uma característica que define o comportamento de uma bomba de calor é o seu coeficiente de "performance" (COP). Define-se COP de aquecimento como a relação entre a diferença de entalpia do refrigerante ao ser condensado (fornecendo, assim, calor ao ar ambiente) e a diferença de entalpia ao ser comprimido no compressor. Analogamente, define-se COP de resfriamento como sendo a relação entre a diferença de entalpia do refrigerante ao se evaporar (retirando, assim, calor do ar ambiente) e a diferença de entalpia ao ser comprimido (94).

Alguns autores, entretanto, preferem utilizar o termo coeficiente de "performance" real (COP real), definido, para o caso do aquecimento (embora para o caso de resfriamento seja análogo), como sendo a relação entre a energia cedida ao ar ambiente ao atravessar o condensador e a energia elétrica, consumida da rede, necessária para movimentar o motor do compressor. A diferença entre os dois termos deve-se ao fato da existência de eficiências que envolvem a) o aumento de entalpia no refrigerante com relação ao consumo de energia elétrica da rede, pelo lado do compressor e b) a transferência de calor entre o refrigerante e o ar ambiente, pelo lado do con

densador ou evaporador (94).

De acordo com Hogan *et alii* (40) quando se leva em consideração o ventilador necessário para movimentar o ar de secagem através da massa de grãos, adota-se o termo coeficiente de "performance" do sistema (COP sist.). Neste caso, é definido como a relação entre a energia térmica total ganha pelo ar ambiente (em grande parte pela passagem no condensador mas também pelo aquecimento promovido ao passar pelo ventilador, devido as fricções e calor liberado pelo motor) e a energia elétrica total consumida da rede (para movimentar o motor do compressor e o motor do ventilador) (Figura 16).

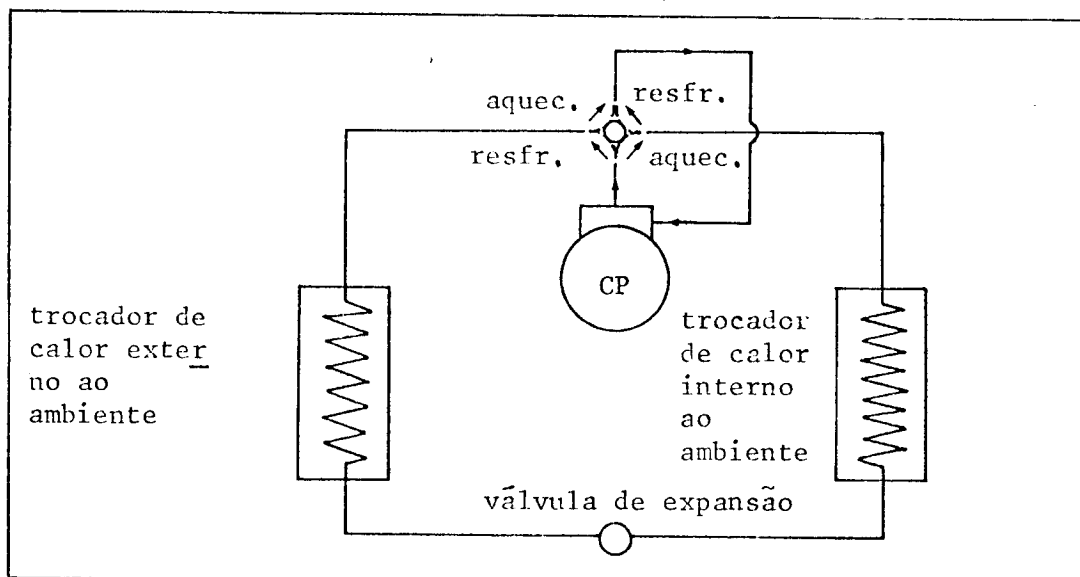


Figura 15. Esquema simplificado da operação de uma bomba de calor.

Fonte: Stoecker (94).

Durante o funcionamento do equipamento frigorífico, o calor recebido pelo refrigerante ao passar no evaporador, o qual foi cedido pelo ar ambiente, e o calor recebido ao ser comprimido no compressor, são liberados no condensador. Assim, COP de aquecimento, nas três definições adotadas, sempre é maior que 1, podendo atingir valores da ordem de 7 a 8, quando o equipamento estiver bem dimensionado e quando as diferenças entre a temperatura do ar ambien-

te e a temperatura do ar de secagem não forem muito grandes (41).

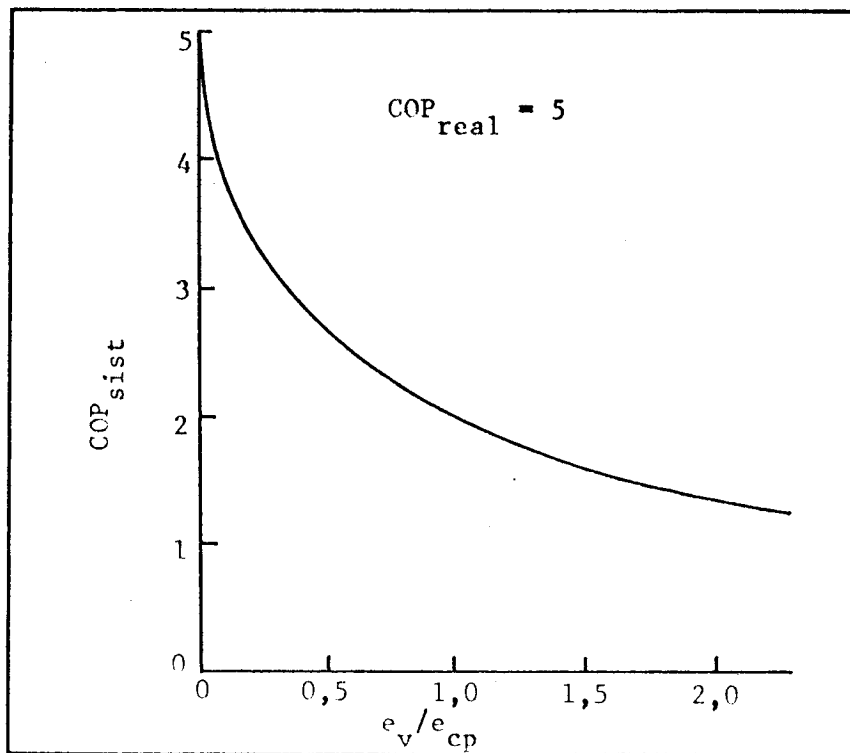


Figura 16. Coeficiente de "performance" do sistema (COP_{sist} .) como função da relação entre o consumo de energia do motor do ventilador e o consumo de energia do motor do compressor (e_v/e_{cp}).

Fonte: Hogan et alli (40).

Flikke et alli (23) utilizaram um sistema de bomba de calor de circuito fechado para secar 227 Kg de aveia desde 28% de umidade inicial até 12% final e 350 Kg de milho desde 25 até 13% de umidade, em camada de 0,30 m de altura, cujo sistema era constituído de uma unidade frigorífica de 3/4 HP e um ventilador com motor de 1/2 HP. Com temperaturas do ar ambiente que variaram desde 23 até 32°C e temperaturas do ar de secagem fixada em 43°C, independentemente do produto que estava sendo seco, à medida que o fluxo de ar aumentava diminuía a energia cedida ao motor do compressor, porém aumentava gradamente a energia cedida ao motor do ventilador (Figura 17). Como consequência do aumento do fluxo de ar, a temperatura desta saída da massa dos grãos é aumentada. Como resultado da troca de calor no evaporador entre o refrigerante e o ar mais quente, o primeiro,

ao ser succionado pelo compressor, estará com uma pressão mais próxima à pressão de descarga, facilitando a operação. Este fato explica a influência positiva do aumento do fluxo de ar de secagem na energia consumida pelo compressor, embora para fluxos acima de $25 \text{ m}^3/\text{min}$. o consumo se manteve praticamente constante. Os autores comentam que o aumento da temperatura de secagem tem o mesmo efeito que o aumento do fluxo de ar. Porém, como no motor do ventilador o aumento do fluxo de ar aumenta a energia que este consome, há um ponto de mínimo consumo total na operação do sistema. Sob as condições de seus experimentos, observaram que o custo mínimo foi encontrado quando se operou o sistema com vazão de ar entre 11 e $15 \text{ m}^3/\text{min}$. Como recomendações gerais, os autores sugerem a utilização de um sistema frigorífico com capacidade de 2.500 Kcal/h para cada $2,7 \text{ Kg}$ de água evaporada/hora. Para operar a um mínimo custo energético durante a secagem, $9 \text{ m}^3/\text{min}$, devem ser utilizados para cada unidade necessária.

Conforme Hogan *et alli* (40) adotando-se como base de cálculo COP_{real} igual a 5, unidade frigorífica com capacidade de 5 ton. de refrigeração, aumento de temperatura de 10°C e uma camada de 3m de milho no interior de um silo, a uma vazão de ar de $113 \text{ m}^3/\text{min}$, o COP do sistema está entre 2,6 e 3,1; à vazão de $340 \text{ m}^3/\text{min}$, o COP do sistema diminui para uma faixa entre 1,7 e 2,3. Se a espessura da camada for de 4,6 m a influência da vazão é ainda maior: a $113 \text{ m}^3/\text{min}$ o COP do sistema está entre 2,1 e 2,6 e à vazão de $340 \text{ m}^3/\text{min}$ os valores caem para uma faixa entre 1,3 e 1,7.

Hogan *et alli* (41) realizaram dois testes comparativos entre a secagem de aproximadamente 100 toneladas de milho, com teor de umidade inicial de 23% e final de 14%, em silo metálico de diâmetro 7,3 m e de altura da camada do produto de 3,5 m, acoplado a um

ventilador de 10 HP. Num teste, o ventilador succionava $180 \text{ m}^3/\text{min}$ de ar ambiente através do condensador de uma bomba de calor, de capacidade de aquecimento de 24 KW, e o insuflava nos grãos. O ar à saída do silo era utilizado como fonte de calor para o evaporador, saindo deste ao ambiente. Sob temperaturas ambientais entre 3 e 18°C , 17 dias foram necessários. Num segundo teste, concomitante ao primeiro, o ventilador succionava $270 \text{ m}^3/\text{min}$. de ar ambiente através de um conjunto de resistências elétricas de capacidade de aquecimento idêntica à da bomba de calor. Sob as mesmas condições ambientais, 14 dias foram necessários para completar a secagem. Como resultado, 63% a mais de energia foi consumida pelo sistema de resistências elétricas do que ao da bomba de calor, para a mesma quantidade de água evaporada (Quadro 17). Quase que 70% da energia total consumida pelo sistema de resistências elétricas foi atribuído à fonte de calor, enquanto que no sistema da bomba de calor somente 36% foi observado. Devido à diminuição da vazão de ar proporcionada pelo ventilador do sistema da bomba de calor, 3 dias a mais foram necessários à secagem, com o consequente aumento do consumo de energia deste elemento do sistema, 26% superior que o do ventilador do sistema de resistências elétricas. Quanto aos coeficientes de "performance", enquanto que para o sistema de resistências elétricas foram iguais a 1, o COP_{real} de aquecimento da bomba de calor foi da ordem de 4,8 e o COP do sistema total de aquecimento (motor de ventilador + motor do compressor) foi de 2,4.

Quanto ao custo total da secagem, já na década de 1950, num dos primeiros trabalhos sobre a utilização de bomba de calor da secagem de grãos, Davis (1949) citado por Flikke *et alli* (23), concluíram que, com base em cálculos teóricos, a operação da bomba de calor se mostrou competitiva quando comparada com os equipamentos de

então que utilizavam combustíveis como fonte de calor, para camadas estacionárias de grãos acima de 0,80 m.

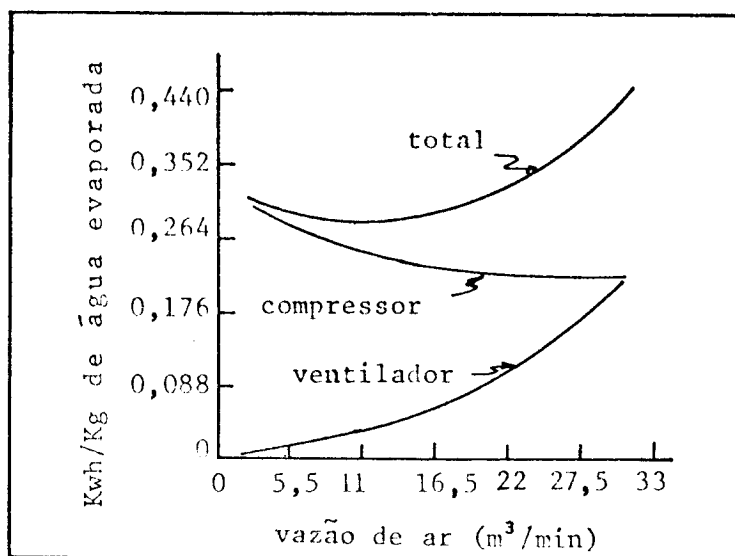


Figura 17. Efeito do fluxo de ar na quantidade de energia elétrica total necessária para a secagem de grãos com temperatura do ar a 43°C. Fonte: Flíkke et alli (23).

Hogan et alli(41) comentam que aos preços vigentes nos Estados Unidos em 1978, houve uma tendência do custo total da secagem por bomba de calor ser comparável à utilização de resistências elétricas, com base numa fazenda modelo de 200 ha, dos quais a metade é utilizada para o cultivo de milho. Sob as mesmas condições, o sistema da bomba de calor mostrou-se mais favorável que a utilização de coletores solares e vantagens ainda maiores quando se comparou com o uso de queimadores de gás liquefeito de petróleo (GLP). Segundo os autores, previsões para os próximos 20 anos indicaram que a diferença entre o custo total do sistema de bomba de calor e os sistemas de resistências elétricas e GLP serão cada vez maiores, embora haja uma tendência em diminuir a diferença quando comparado com o sistema de coletores solares.

Quadro 17. Parâmetros do comportamento dos sistemas de bomba de calor e de resistências elétricas na secagem de 100 ton. de milho desde 23 até 14% de umidade.

parâmetro do sistema	bomba de calor	resistências elétricas
COP real de aquecimento	4,8	1,0
COP do sistema de aquecimento	2,4	1,0
Taxa de calor fornecida (Kw)	25,2	21,6
Potência à fonte de calor (Kw)	5,2	21,6
Potência ao ventilador (Kw)	9,4	9,1
Potência do sistema (Kw)	14,6	30,7

Fonte: Hogan et alli (41).

VI - MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 - Calibração dos elementos e aparelhos de medição

4.1.1. Orifício

Três orifícios metálicos, de idênticas características construtivas, elaborados na oficina mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual de Campinas, foram empregados durante os experimentos de secagem e armazenamento em silos, no sentido de indicar as vazões de ar utilizadas. Dos três orifícios, com diâmetro externo de 0,15 m, diâmetro interno de 0,10 m e espessura de 1 mm, apenas um foi utilizado para a prévia calibração. O teste consistiu em fixar o orifício no interior de uma tubulação metálica de 0,15 m de diâmetro e comprimento 2,6 m, distanciada 2,0 m de uma das extremidades e 0,60 m da outra. À extremidade da tubulação mais distante foi acoplada uma válvula tipo borboleta e a mais próxima foi instalado um medidor de vazão, marca Merian modelo 50MC2-6. Numa primeira fase o ar era impulsionado por meio de um ventilador centrífugo, marca WEG, com motor de 1CV, 220V, trifásico, acoplado à extremidade da tubulação onde se encontrava a válvula. A vazão de ar era controlada pela válvula e indicada pelo medidor. A perda de pressão estática do ar na passagem pelo orifício, observada em dois pontos situados a 0,15m antes e após este, era indicada,

ora por um manômetro de tubo inclinado, ora por um manômetro de tubo em "U", com água no seu interior, dependendo dos valores de perda de pressão obtidos. Numa segunda fase, outro ventilador centrífugo, idêntico ao anteriormente citado, foi acoplado em série a este, no sentido de aumentar a faixa de utilização da curva de calibração. Numa terceira fase, finalmente, ambos os ventiladores foram retirados e no lugar destes foi acoplado outro, marca Kongsilde, com motor 2 CV, 220V, trifásico, de alta pressão. Foi construída, assim a curva da vazão de ar em função da perda de pressão no orifício, empregando-se todos os pontos experimentais obtidos nas 3 fases citadas, com exceção daqueles cuja vazão ultrapassava o limite de confiança do medidor empregado.

4.1.2. Higrotermôgrafos

Dois higrotermôgrafos, marca Tokio/Ota, modelo 47/11, foram calibrados dentro de uma faixa de temperatura desde 5 até 40°C e dentro de uma faixa de umidade relativa desde 30 até próxima a 100%, utilizando-se a) as condições do ar ambiente, que eram fornecidas por um psicrômetro de chicote, marca Thies; b) um condicionador de ar, marca Aminco-Aire, cujas condições de saída eram medidas por termopares de bulbo seco e bulbo úmido e c) 3 câmaras com temperatura controlada, marca FANEM, modelo 347. Uma primeira calibração foi realizada no mês de abril de 1978 e uma segunda, e última, no mês de janeiro de 1979. Dentro do período de utilização dos higrotermôgrafos, que foi de 18 meses, aproximadamente de 15 em 15 dias os valores por estes indicadores eram confrontados pelos valores obtidos através do uso do psicrômetro de chicote.

4.1.3. Determinador de umidade de grãos

O determinador de umidade digital, marca Burrows, modelo 700, foi calibrado, para ser utilizado com sementes de soja, numa faixa de umidade que variou desde 9 até 20% mediante a comparação com os valores obtidos pelo método da estufa (105°C/24h). A obtenção de amostras de soja com diferentes teores de umidade obedeceu a duas etapas: a) reumidificação dos grãos originalmente com 9% de umidade até o teor final de 20%, mediante agregação de água, mantendo-os em sacos plásticos lacrados no interior de uma câmara a 10°C por 72 horas; b) secagem dos grãos úmidos em uma câmara vertical de madeira, utilizando ar forçado, cuja temperatura era mantida em 40°C pelo condicionador Aminco-Aire, no sentido de serem obtidas amostras com teores de umidade intermediários. Por ocasião do experimento de secagem com bomba de calor descrito no item 4.6 onde o determinador digital indicou valores acima da faixa pré-estabelecida em determinadas amostras, estes foram confrontados com os valores obtidos mediante a colocação das referidas amostras em estufas a 105°C/24 h.

4.2 - Dimensionamento e escolha da bomba de calor

Os elementos constituintes do equipamento frigorífico foram escolhidos tomando-se como base as seguintes condições de operação:

- a) período de funcionamento: diária e ininterruptamente das 22:00 às 06:00 h;
- b) utilização do calor liberado no condensador para aquecer 20 m³/min de ar ambiente;
- c) temperatura e umidade relativa do ar ambiente, em média,

20°C e 90% respectivamente, durante o período de funcionamento;

- d) temperatura média do ar à saída do condensador: 26°C;
- c) temperatura média do ar à saída do evaporador: 10°C.

Considerou-se a temperatura de condensação do refrigerante igual a 35°C, ou seja, 15°C acima da temperatura média do ar ambiente e 9°C acima da temperatura do ar à saída do condensador. Considerou-se a temperatura de evaporação do refrigerante igual a 5°C, ou seja, 15°C abaixo da temperatura do ar ambiente e 5°C abaixo da temperatura do ar à saída do evaporador.

Dadas as temperaturas de evaporação e de condensação e baseado no ciclo teórico e no diagrama pressão x entalpia do refrigerante R12 (90), foram obtidas as diferenças de entalpia através de sua passagem pelo evaporador, compressor e condensador, bem como seu volume específico à entrada do compressor.

A quantidade de calor a ser fornecida ao ar ambiente pelo condensador, Q_{cd} , foi calculada como se segue:

$$Q_{cd} = \dot{m} c \Delta T \quad [\text{kcal/h}] \quad 12$$

onde $\dot{m}$ = vazão mássica de ar [Kg/h]

c = calor específico do ar = 0,24 Kcal/Kg °C

ΔT = acréscimo de temperatura do ar ao passar pelo condensador [°C]

e

$$\dot{m} = \frac{60 V_a}{v_a}$$

13

onde

V_a = vazão volumétrica de ar [m³/min]

v_a = volume específico do ar, sob as condições ambientais, obtido pelas equações da psicrometria (11) sob a pressão barométrica de 712mmHg [m³/Kg] .

Com base na quantidade de calor a ser fornecida ao ar pelo condensador, Q_{cd} , e com a diferença de entalpia do refrigerante ao passar por esse elemento, Δh_{cd} , obteve-se o fluxo de massa do refrigerante, M_{R12} , através da seguinte relação:

$$M_{R12} = \frac{Q_{cd}}{\Delta h_{cd}} \quad \left[\text{Kg/h} \right] \quad 14$$

Considerando-se o fluxo de massa e o volume específico do R12 na sucção do compressor, v , a razão volumétrica de refrigerante, V_{R12} , por este deslocado foi calculada por:

$$V_{R12} = (M_{R12})(v) \quad \left[\text{m}^3/\text{h} \right] \quad 15$$

Considerando-se a diferença de entalpia e o fluxo de massa do refrigerante no compressor, Δh_{cp} e M_{R12} respectivamente, a potência elétrica necessária ao motor para movimentar o compressor, P , foi assim calculada:

$$P = \frac{(\Delta h_{cp}) \cdot (M_{R12}) (1,5595 \times 10^{-3})}{\eta} \quad \left[\text{HP} \right] \quad 16$$

η = eficiência global do sistema motor-correia de transmissão-compressor, levando-se em consideração as perdas térmicas e mecânicas ocorridas neste. O valor inicialmente adotado foi 0,4.

Dados a diferença de entalpia e o fluxo de massa do refrigerante ao passar pelo evaporador, Δh_{ev} e M_{R12} , respectivamente, a quantidade de calor a ser retirada do ar ambiente, Q_{ev} , foi calculada pela seguinte relação:

$$Q_{ev} = (M_{R12}) \cdot (h_{ev}) \quad [\text{Kcal/h}] \quad 17.$$

A escolha final dos elementos constituintes da bomba de calor foi feita através de catálogos de firmas fornecedoras, dentro das condições de operação e refrigerantes previamente estabelecidos, escolhendo-se aqueles que mais se aproximaram aos resultados dos cálculos acima.

4.3 - Instalação e testes de desempenho da bomba de calor

Após a escolha dos elementos da bomba de calor estes foram instalados na área externa dos prédios da Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, sobre bases de alvenaria e protegidos do sol e chuva por meio de coberturas de zinco, com estrutura e paredes laterais de madeira. As linhas de líquido (saída da garrafa de líquido até a válvula de expansão) e gás (saída do evaporador até a entrada do compressor) foram colocadas uma ao lado da outra e isoladas termicamente do ambiente, visando promover um superaquecimento do gás oriundo do evaporador e um subresfriamento do líquido que saiu do condensador.

À saída do evaporador, pelo lado do ar, assim como à saída do condensador, foi fixado um cone de madeira, no sentido de interligar o trocador de calor a um tubo metálico de 0,15m de diâmetro e 0,10 m de comprimento.

Para efetuar os testes de desempenho durante o funcionamento da bomba de calor, foram instalados; a) um medidor de consumo de energia elétrica marca April, 15A, na linha de alimentação do sistema; b) manômetros de baixa e alta pressão do refrigerante, mar

ca Marsh, a entrada e a saída do compressor, respectivamente; c) 7 termopares de cobre-constantan, soldados na tubulação do refrigerante e isolados termicamente do ambiente, respectivamente, a entrada e a saída do evaporador, a entrada e a saída do compressor, a entrada e a saída do condensador e a entrada da válvula de expansão e d) 4 termopares de cobre-constantan para medidas da temperatura do ar, respectivamente, a entrada e a saída do evaporador e a entrada e a saída do condensador. O fluxo de ar que passava pelo condensador era mantido ora por uma hélice própria do equipamento, acoplada à polia de transmissão do motor do compressor, ora pela sucção de um ventilador centrífugo com motor de 1CV conectado a uma tubulação metálica de 0,15 m, isolada termicamente a qual se interligava ao tubo de igual diâmetro localizado a saída do condensador (Figura 18).

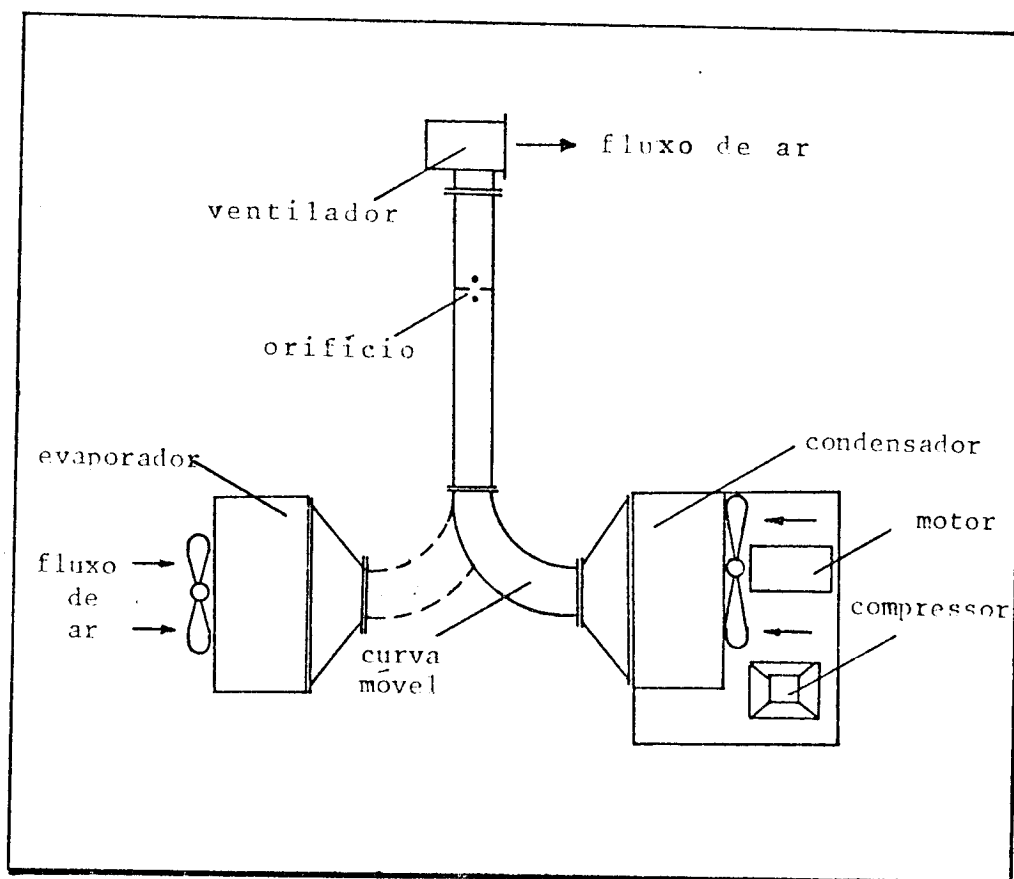


Figura 18. Esquema simplificado da montagem da bomba de calor, indicando os elementos responsáveis pelo fluxo de ar durante os testes de desempenho.

Quando do uso da hélice acoplada à polia do motor do compressor, o fluxo de ar era medido por meio de um anemômetro de hélice, manual, marca Rosenmüller, à saída do tubo de 0,15 m de diâmetro. Quando do uso do ventilador centrífugo, o fluxo de ar era medido através da leitura da perda de carga ao atravessar o orifício previamente calibrado, instalado na tubulação. Nos testes onde o ventilador centrífugo estava conectado ao condensador, o fluxo de ar, no evaporador era mantido pelo ventilador axial próprio deste elemento, sendo medido através do manômetro de hélice. Nos testes onde o fluxo de ar no condensador era mantido por sua própria hélice, o fluxo de ar do evaporador era mantido pelo mesmo ventilador centrífugo acima citado e sua medida era feita através da perda de carga ao atravessar o orifício calibrado.

As leituras de temperatura indicadas pelos termopares foram obtidas através de um potenciômetro milivoltimétrico, manual, marca Leeds & Northrup, modelo 8690-2.

Os testes foram efetuados em função, também, das condições ambientais, cuja temperatura e umidade relativa eram constantemente indicadas por um higrotermôgrafo.

Com os valores da temperatura do refrigerante nos 7 pontos escolhidos do equipamento e com as pressões de alta e baixa, foram obtidos, do diagrama pressão x entalpia do R12 (90), os valores da entalpia nos pontos considerados e o volume específico, v , à entrada do compressor. Considerando-se a vazão volumétrica, V_{R12} , promovida pelo compressor, obtida do catálogo do fabricante e o volume específico do refrigerante, foi obtido, para cada um dos testes, o fluxo de massa do R12, M_{R12} . Considerando-se as diferenças de entalpia entre os pontos antes e após cada um dos elementos do equipamen

to, (Δh_{eq}) , foi calculada a quantidade de calor cedida ou retirada pelo refrigerante ao passar por esses elementos, Q_{R12} , através da seguinte equação:

$$Q_{R12} = M_{R12} \Delta h_{eq} \quad [\text{kcal/h}] \quad 18$$

O COP de aquecimento do ciclo do refrigerante foi obtido pela relação entre a quantidade de calor por este liberada no condensador e a quantidade de calor a este adicionada pelo compressor. O COP de resfriamento do ciclo do refrigerante foi calculado através da relação entre a quantidade de calor recebida no evaporador e a recebida na passagem pelo compressor.

Para cada um dos testes efetuados o calor recebido pelo ar no condensador, Q_{cd} , foi calculado mediante as equações 12 e 13. De modo análogo foi calculado o calor fornecido pelo ar no evaporador.

O COP real de aquecimento da bomba de calor foi obtido pela relação entre a energia térmica recebida pelo ar no condensador e a energia elétrica consumida pelos motores do compressor e do evaporador e pelos controles. Considerou-se, também, o COP de aquecimento em relação ao consumo de energia elétrica promovido apenas pelo motor do compressor. O COP real de resfriamento foi calculado de modo análogo ao de aquecimento.

Finalmente, para cada um dos testes foi calculada a eficiência global do sistema motor-transmissão-compressor através da relação entre a energia cedida ao refrigerante ao atravessar o compressor e a energia elétrica consumida pelo seu motor.

4.4 - Secagem com ar natural

Em 2 silos metálicos verticais (denominados A e B) de altura 2,0 m e diâmetro 2,40 m, marca ICMA, instalados na parte externa dos prédios da Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, foram colocados, respectivamente, 5.200 e 5.500 kg de sementes de soja, variedade Santa Rosa, com teor de umidade 14,5%, procedentes de Avaré-SP, da safra 1977/1978, onde se efetuou a secagem, iniciando-se no dia 20/04/78 e finalizando-se quando o teor médio de umidade das sementes atingisse o de equilíbrio com as condições do ar de secagem. Utilizou-se, neste caso, vazão de ar de $14,5\text{m}^3/\text{min}$. ($2,8\text{m}^3/\text{min. ton.}$) e $15,0\text{m}^3/\text{min}$ ($2,7\text{m}^3/\text{min. ton.}$), respectivamente, em ambos os silos, com ar em condições ambientais, para cada um dos silos, durante 24h/dia, até o término da secagem, mediante o emprego de 1 ventilador centrífugo, marca WEG, 1CV, 220 V, trifásico.

As condições de temperatura e umidade relativa do ar ambiente foram registradas continuamente por um higrotermôgrafo. As variações da temperatura da massa dos grãos no interior dos silos foram observadas 2 vezes ao dia (às 9:00 e às 16:00h) por meio de 5 termopares de cobre-constantan colocados a cada 0,25m de altura, a partir do primeiro que foi colocado a 0,05m da chapa perfurada do silo. Também 2 vezes ao dia (às 9:00 e às 16:00h) as variações do teor de umidade das sementes foram observadas através do determinador digital, previamente calibrado, nas 5 posições onde se localizaram os termopares.

Testes de vigor e germinação das sementes foram realizados antes e após a secagem, nas 5 posições consideradas. O consumo de energia elétrica foi observado apenas no silo B, através do medidor de Kwh colocado na linha de alimentação do motor do ventilador,

Após a secagem, em 2 dias consecutivos, no período compreendido entre 21:00 e 08:00 h, observou-se, mediante a colocação de termopares antes e após o ventilador centrífugo do silo A, o aquecimento promovido por este elemento do sistema. A vazão de ar empregada foi de $13,8\text{m}^3/\text{min}$ no primeiro teste e $14,0\text{m}^3/\text{min}$ no segundo.

4.5 - Armazenamento

Após a secagem com ar natural das sementes, 500Kg foram retirados de cada silo e acondicionados em 20 sacos de aniagem de 50 Kg cada um. Os sacos foram mantidos no interior de um prédio coberto, com ventilação natural, colocados sobre um estrado de madeira,, constituindo uma pilha de 4 sacos, com lastro de 5 sacos.

A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente foram registradas continuamente por meio de um higrotermôgrafo. Durante 17 meses, de maio de 1978 a outubro de 1979, as sementes ficaram armazenadas nos sacos, onde, mensalmente, se anotava dados de teor de umidade em várias posições da pilha e procedia-se a testes de vigor e germinação das sementes. A partir de março de 1979 seis termopares de cobre-constantan foram colocados em diferentes posições no interior dos sacos para anotar, 2 vezes ao dia (às 09:00 e às 16:00 h), as variações de temperatura da massa dos grãos.

As sementes que restaram no silo A ali permaneceram armazenadas pelo mesmo período de 17 meses, recebendo aeração noturna com ar ambiente, continuamente, durante 8h/dia (das 22:00 às 06:00 h), à razão de $0,5\text{m}^3/\text{min}$, ton., mediante o emprego do mesmo ventilador centrífugo utilizado no experimento da secagem.

Medidas de temperatura foram efetuadas duas vezes ao dia

(às 09:00 e às 16:00h), nas 5 posições onde se encontravam os termo pares. Mensalmente dados de teor de umidade foram observados e tes tes de vigor e germinação foram efetuados nas mesmas 5 posições. A temperatura e umidade relativa do ar ambiente foram registradas con tinuamente por um higrotermôgrafo.

As sementes que restaram no silo B ali permaneceram arma-
zenadas durante os 17 meses, recebendo aeração noturna com ar ambi-
ente sendo resfriado pelo evaporador da bomba de calor, continuamen-
te, durante 8h/dia (das 22:00 às 06:00h), à razão de $0,5\text{m}^3/\text{min.ton.}$,
forçado pelo mesmo ventilador centrífugo utilizado no experimento da
secação. Foram feitas as mesmas observações de temperatura e umida
de relativa do ar ambiente, temperatura e teor de umidade da massa
dos grãos e testes de vigor e germinação das sementes, durante o
tempo total de armazenamento, com períodos idênticos aos do silo A.
O consumo total de energia elétrica foi observado através do medi-
dor de Kwh colocado na linha de alimentação dos motores do ventila-
dor centrífugo, compressor, evaporador e controles (Figura 19).

As Figuras 20 e 21 mostram os sistemas de armazenamento em
pregados nos silos metálicos A e B, bem como a disposição dos ele-
mentos que constituíram tais sistemas.

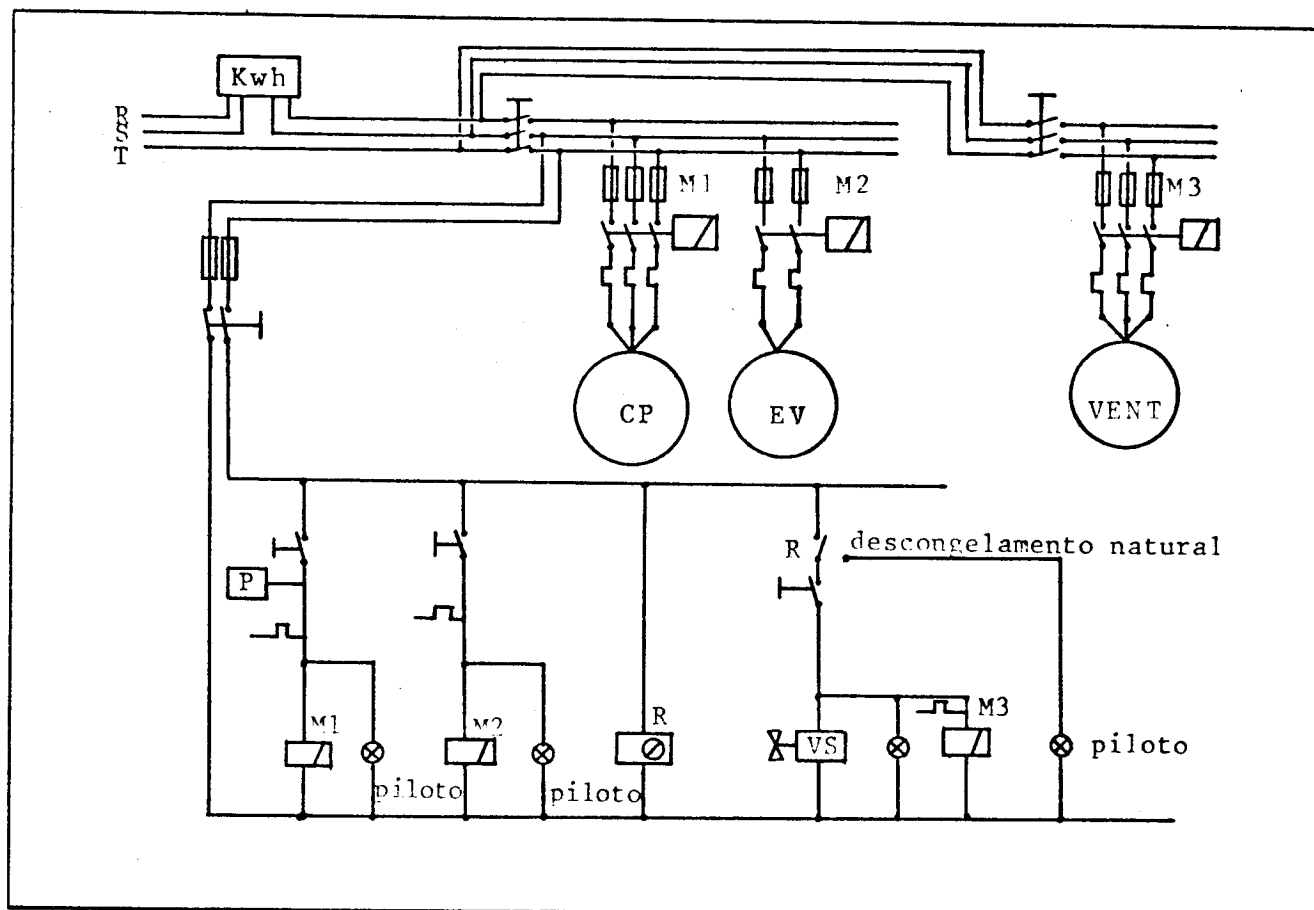


Figura 19. Esquema do quadro elétrico geral do silo B durante a fase de armazenamento,



Figura 20. Silos A e B durante a fase de armazenamento.



Figura 21. Disposição dos elementos constituintes do sistema de armazenamento do silo B,

4.6 - Secagem com ar natural complementado com a bomba de calor

Trinta sacos de sementes de soja, totalizando 1.500Kg, variedade Santa Rosa, com teor de umidade 21,2%, procedentes de Avaré-SP, da safra 1978/1979, foram colocados no interior de outro silo metálico, denominado C, de altura 1,0m e diâmetro 1,6m, fabricado em Campinas-SP pela firma Irmãos Derubeis Ltda. A secagem desse material foi efetuada utilizando-se vazão de ar de 10m³/min. ton.

No período compreendido entre 06:00 e 22:00h utilizou-se ar em condições ambientais forçado por um ventilador centrífugo, marca WEG, com motor de 2CV, 220V, trifásico. Das 22:00 às 06:00h, período em que o equipamento frigorífico permanecia em funcionamento para resfriar as sementes armazenadas no silo B, o ar ambiente foi aquecido através de sua passagem pelo condensador sendo succionado pelo ventilador centrífugo, através de uma tubulação metálica de 6" de diâmetro, isolada termicamente do ambiente (Figura 22).

Foram registradas, continuamente, por meio de um indicador/registrador de 24 pontos, marca Leeds & Northrup, modelo Speed-0-max, as variações de temperatura do ar ambiente, antes e após a passagem pelo condensador e após sua passagem pelo ventilador, bem como a temperatura da massa dos grãos em 6 posições internas ao silo, situadas, cada uma, a 0,20m de altura a partir da primeira localizada 0,05m da chapa perfurada.

A temperatura e a umidade relativa do ar ambiente foram registradas continuamente por meio de um higrotermôgrafo previamente calibrado. No primeiro dia da secagem quatro dados de teor de umidade das sementes foram obtidos e, nos dias seguintes, apenas duas



Figura 22. Disposição dos silos B e C durante a secagem e o armazenamento.

observações diárias foram realizadas (às 07:00 e às 18:00h). Os valores obtidos do conteúdo de umidade das sementes antes e após a secagem, assim como os testes de germinação, também se originaram de amostras retiradas de cada uma das 6 posições internas ao silo citadas no parágrafo anterior.

4.7 - Testes de germinação e de vigor das sementes

Os testes de germinação, para todos os casos aqui relatados, foram realizados no Laboratório Central de Sementes da CATI e seguiram a metodologia descrita pela legislação brasileira (8).

Os testes de vigor, também realizados na CATI, obedeceram aos seguintes critérios:

- a) 4 repetições de 100 sementes para cada amostra, mantendo - as a 44°C e 95-100% de umidade relativa durante 48h, seguido de um teste normal de germinação, para o caso das sementes secas nos silos A e B e mantidas nestes e nas sacas até o 6º mês de armazenamento;
- b) 4 repetições de 100 sementes para cada amostra, mantendo - as a 42°C e 95-100% de umidade relativa durante 24h, seguido de um teste normal de germinação, para o caso das sementes mantidas armazenadas nos silos A e B, e nas sacas, a partir do 8º mês dos experimentos.

4.8 - Avaliação do custo anual e análise de investimento do processo da secagem e armazenamento em silos com a bomba de calor.

A análise econômica do emprego da bomba de calor nas etapas de secagem e do armazenamento de sementes de soja em silos foi feita baseada nas seguintes condições de operação:

- a) secagem ininterrupta, durante 24h/dia, utilizando-se o condensador durante todo o período para aquecer o ar ambiente; fluxo de ar de $6\text{m}^3/\text{min. ton. de produto úmido}$; temperatura e umidade relativa médias do ar ambiente iguais às obtidas durante o experimento da secagem com ar natural (item 4.4); condições de ar de secagem de acordo com as condições do ar ambiente e da quantidade de calor recebida ao passar pelo condensador, esta última obtida dos resultados dos testes de desempenho do equipamento; teores de umidade inicial e final das sementes de 18 e 12%, respectivamente

te; quantidade de produto antes da secagem: 6 toneladas ; tempo de secagem de acordo com a Figura 10; e

- b) Armazenamento das sementes no próprio silo secador, durante 8 meses, iniciando-se logo após o término da secagem, utilizando-se aeração das 22:00 às 06:00h através de ar ambiente resfriado pelo evaporador; fluxo de ar de $0,5\text{m}^3/\text{min}$. ton.

A vazão de ar adotada para a secagem foi 20% superior à vazão mínima necessária para o caso de sementes de soja inicialmente a 18% de umidade (Figura 9).

O dimensionamento do ventilador e do silo, baseado nas condições de operação da secagem, foi feito de acordo com a metodologia descrita por Villa e Roa (102). Considerou-se, para realizar as tarefas acima citadas, a mesma bomba de calor empregada nos experimentos descritos nos itens 4.5 e 4.6.

O custo anual do processo/tonelada de produto final foi baseado no custo da energia elétrica consumida pelos motores do ventilador centrífugo e pela bomba de calor; custo do fator de demanda sobre a potência dos motores instalados; depreciação linear dos equipamentos em 10 e em 15 anos e custo de manutenção de 3% sobre o investimento total. O custo do Kwh consumido e o custo do Kwh instalado foram obtidos na Companhia Paulista de Força e Luz, Campinas - SP, em abril/1980, considerando-se uma empresa localizada na zona rural com capacidade total instalada abaixo de 2.000 Kw. Os custos (incluindo impostos, frete e instalações), do silo, ventilador centrífugo, bomba de calor e demais acessórios foram obtidos mediante contratos com as respectivas firmas fornecedoras, entre os meses de abril e maio de 1980.

Não foram computados os custos da matéria-prima, da mão-de-obra e do terreno tendo em vista que o sistema proposto prestar-se-ia a substituir os tradicionalmente utilizados na fazenda (secagem na planta, secagem em secadores mecânicos, armazenamento em sacas, etc) e que, nestes últimos, tais fatores já estão disponíveis.

A mesma metodologia foi utilizada para outras 2 capacidades de produção, ou seja, 12 e 18 toneladas de sementes inicialmente com 18% de umidade. Para tais condições as bombas de calor foram escolhidas de catálogos de fabricantes, considerando-se, respectivamente, unidades com capacidade 2 e 3 vezes superior à da empregada nos experimentos.

A análise do investimento foi baseada no método do valor atual (38,52), onde as taxas de desconto (juros + correção monetária), consideradas nos cálculos foram 0,30, 0,40 e 0,50 e o número de períodos foi considerado como sendo o número de anos de vida útil dos equipamentos, ou seja, 10 e 15 anos. As retribuições anuais, R_i , foram calculadas mediante a seguinte relação:

$$R_i = D_i - C_i$$

$$\left[\begin{array}{l} \text{Cr\$/tonelada de produto} \\ \text{a 12\% de umidade} \end{array} \right] \quad 19$$

onde D_i = diferença de preço entre a soja com características de semente e a soja com características de grão industrial. [Cr\$/tonelada]

C_i = custo do processo [Cr\$/tonelada de produto a 12% de umidade]

i = ano relativo à recuperação, variando de 1 a n , onde n é o número de anos da vida útil dos equipamentos.

Os preços da semente de soja e da soja industrial foram obtidos, respectivamente, através do Posto de Sementes da CATI de Campinas, em abril de 1980 e da Bolsa de Cereais de São Paulo (Folha de São Paulo, edição de 16/05/80). Para os anos subsequentes ao primeiro, considerou-se aumento de 30%/ano sobre os preços das sementes e grãos comerciais em relação aos preços do ano anterior. O custo do processo, C_i , foi modificado anualmente mediante acréscimos progressivos de 30% sobre o custo total da energia elétrica (consumo + demanda) e de 30%, também progressivos, sobre o custo de manutenção. O custo da depreciação manteve-se constante, uma vez que se supôs linear durante o período de vida útil dos equipamentos.

O investimento foi considerado economicamente viável naquelas situações onde o valor atual calculado fosse igual ou superior ao investimento necessário à aquisição dos equipamentos. Considerou-se, também que os equipamentos fossem adquiridos à vista.

O ponto de equilíbrio do investimento foi determinado no instante em que a soma das recuperações anuais se tornasse igual ou superior ao valor inicialmente aplicado.

V - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - Curva de calibração do orifício

A Figura 23 indica os pontos experimentais da perda de carga no orifício em função da vazão de ar que o atravessava durante o teste de sua calibração. Não obstante a utilização de 3 sistemas para movimentar o ar, caracterizado pelas 3 fases do teste, e principalmente do emprego de 2 diferentes manômetros para medir a perda de carga do ar ao atravessar o orifício, a curva média resultante apresentou um formato bem definido.

5.2 - Dimensionamento e escolha da bomba de calor

Dadas as condições de operação da bomba de calor e de acordo com o diagrama pressão x entalpia do refrigerante R12, foram obtidos os seguintes resultados:

- a) diferença de entalpia do R12 ao passar pelo evaporador,
 $\Delta h_{ev} = 28,5 \text{ Kcal/Kg};$
- b) diferença de entalpia do R12 ao passar pelo compressor ,
 $\Delta h_{cp} = 3,5 \text{ Kcal/Kg};$
- c) diferença de entalpia do R12 ao passar pelo condensador ,
 $\Delta h_{cd} = 32 \text{ Kcal/Kg} ;$

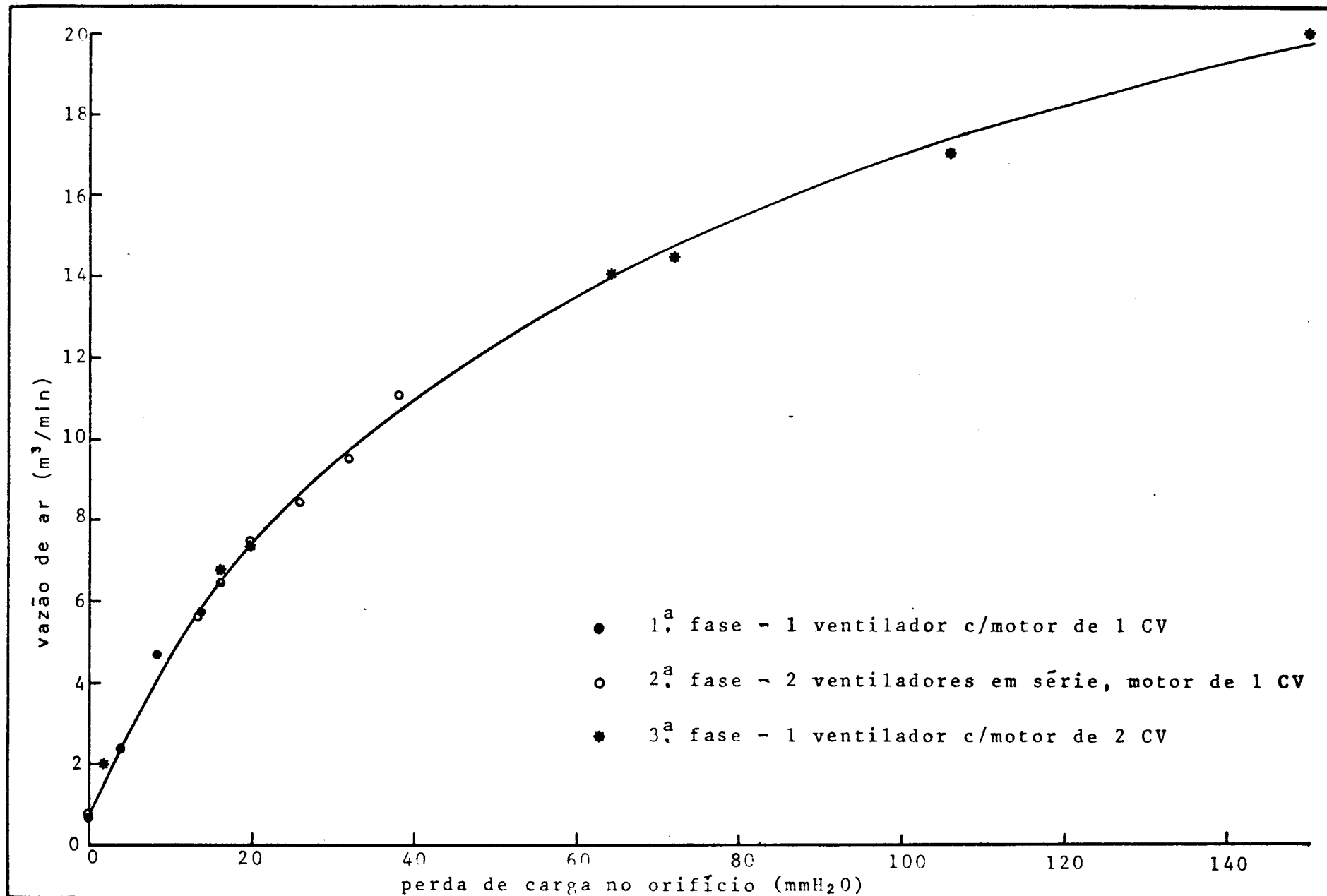


Figura 23. Curva de calibração do orifício.

- d) volume específico do R12 à entrada do compressor,
 $v = 0,048 \text{ m}^3/\text{Kg}$;
- e) pressão de evaporação e pressão de condensação do R12, respectivamente, 3,8 e 9,0 Kg/cm².

Através das equações 12 e 13, a quantidade de calor a ser fornecida pelo R12 no condensador foi 1909,4 Kcal/h. O emprego da equação 14 resultou num fluxo de massa do refrigerante de 59,67 Kg/h. Assim, pela equação 15, o volume de R12 a ser deslocado pelo compressor foi calculado em 2,86m³/h. A potência necessária ao motor do compressor, calculada pela equação 16, foi de 0,81 HP. Uma vez que não são fabricados motores com tal potência, considerou-se, portanto, um motor de 1 HP. Através da equação 16, a quantidade de calor a ser retirada pelo R12 no evaporador foi 1.700,6 Kcal/h.

Baseado nos resultados preliminares acima descritos, escolheu-se o sistema frigorífico constituído dos seguintes elementos:

- a) 1 unidade condensadora resfriada a ar, marca Rádio-Frigor, modelo UC-210-III, com as seguintes características para utilização com R12:

temperatura de evaporação	= + 5°C
pressão de evaporação	= 37,9 lb/pol ²
capacidade calorífica	= 1.900 kcal/h
motor de compressor	= 1,5HP, 220V, trifásico
diâmetro da polia do motor	= 70mm
RPM do compressor	= 405
deslocamento do compressor	= 3,83m ³ /h de R12;

- b) 1 evaporador/forçador, marca Mipal, Modelo TA-01, com 10m² de área total de troca de calor, contendo 1 ventilador axial com motor marca Brasil, 1/20 CV, monofásico, 220V.

A Figura 24 mostra a unidade condensadora instalada no local dos experimentos e o Anexo 1 contém as demais especificações do equipamento frigorífico utilizado.



Figura 24. Unidade condensadora instalada no local dos experimentos.

5.3 - Testes de desempenho da bomba de calor

O Quadro 18 indica os resultados experimentais de 10 testes efetuados durante a operação da bomba de calor.

A potência total consumida da rede elétrica de alimentação pela bomba de calor foi de 1,292 Kw, dos quais 1.118 corresponderam ao consumo do motor do compressor, sendo que o restante foi consumido pelo motor do ventilador axial do evaporador e pelos controles.

O Quadro 19 apresenta a entalpia do refrigerante nas 7 posições da bomba de calor e seu volume específico à entrada do com-

Quadro 18. Resultados experimentais obtidos em 10 testes efetuados com a bomba de calor

teste nº	data	hora do dia	Pressão*		vazão do		condições		tempratura do refrigerante							temp. do ar			
			absoluta		ar		ambientais		(°C)							(°C)			
			(Kg/cm²)		(m³/min)				posição**							posição***			
			alta	baixa	cond.	evap.	T	UR	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
							(°C)	(%)											
1	07/05/78	15:00	12,1	3,8	7,5	13,7	30,0	40	8,6	14,4	19,8	70,7	66,7	49,2	42,8	26,7	22,3	26,7	45,4
2	07/05/78	17:00	10,7	3,6	13,8	8,4	30,0	40	7,3	12,9	16,1	67,8	63,2	44,0	39,0	28,7	15,9	28,7	40,2
3	15/06/78	17:00	9,5	3,1	13,3	8,4	27,0	42	3,2	10,2	14,9	63,9	59,4	38,3	33,5	24,5	13,9	24,5	34,9
4	04/06/78	17:00	9,5	3,0	13,7	8,4	26,0	43	2,5	9,3	14,4	63,0	58,9	38,3	33,3	25,7	17,6	25,7	34,9
5	25/05/78	17:00	9,5	3,1	9,6	8,4	25,0	45	3,0	8,5	13,6	61,4	56,6	38,1	32,8	25,0	16,6	24,3	34,7
6	25/05/78	21:30	7,6	2,7	9,6	8,4	15,0	75	-2,2	6,3	10,6	52,7	48,0	27,9	22,8	15,0	10,1	15,0	25,4
7	24/05/78	23:15	7,6	2,8	7,5	9,6	13,0	80	-1,0	7,3	10,9	49,9	45,1	28,2	22,8	12,6	5,5	13,0	25,0
8	25/05/78	22:30	7,6	2,7	7,5	9,6	13,0	85	-2,0	7,3	11,1	50,4	46,3	28,2	22,5	13,4	5,3	13,0	25,6
9	25/05/78	02:30	6,5	2,8	7,5	9,6	10,0	85	-3,4	7,8	9,8	46,8	41,2	25,2	19,3	11,4	4,0	10,0	23,0
10	24/05/78	06:00	6,9	2,5	7,5	9,6	10,0	85	-3,7	5,0	8,3	46,3	40,2	24,6	18,6	10,9	3,2	10,0	22,1

105

* pressão indicada pelo manômetro + pressão barométrica do local dos testes.

** 1 - entrada do evaporador;
2 - saída do evaporador;
3 - entrada do compressor;
4 - saída do compressor;
5 - entrada do condensador;
6 - saída do condensador;
7 - entrada da válvula de expansão;

*** 8 - entrada do evaporador;
9 - saída do evaporador;
10 - entrada do condensador;
11 - saída do condensador.

pressor, nos 10 testes efetuados com o equipamento.

Quadro 19. Entalpia do refrigerante nas diversas posições da bomba de calor e volume específico à entrada do compressor

teste nº	entalpia (Kcal/Kg)							volume específico (m³/Kg)
	posição							
	1	2	3	4	5	6	7	
1	18,5	46,50	47,75	54,00	53,00	19,5	18,5	0,052
2	17,5	46,50	47,50	53,75	52,75	18,5	17,5	0,055
3	16,0	46,25	47,50	53,25	52,50	17,5	16,0	0,068
4	16,0	45,75	47,25	53,25	52,25	17,5	16,0	0,070
5	16,0	46,00	47,00	52,75	51,75	17,0	16,0	0,068
6	13,5	46,50	47,00	51,75	50,75	14,5	13,5	0,075
7	13,5	46,25	47,00	51,00	50,00	15,0	13,5	0,075
8	13,5	46,50	47,00	51,00	50,25	15,0	13,5	0,075
9	13,0	46,00	46,75	51,00	50,00	14,0	13,0	0,075
10	12,5	45,50	46,50	50,75	49,50	14,0	12,5	0,080

O fluxo de massa do refrigerante; a quantidade de calor por este recebida ao passar pelo evaporador, compressor e devido ao superaquecimento ocorrido ao passar pelo trecho isolado da tabulação; a quantidade de calor cedida ao passar pelo condensador e devido ao subresfriamento ocorrido no trecho isolado da tabulação e os coeficientes de "performance" de resfriamento e de aquecimento do ciclo do refrigerante são mostrados no Quadro 20, para todos os testes efetuados.

Pelo quadro 19, o volume específico do refrigerante variou desde um valor mínimo de 0,052m³/Kg, para o caso do teste nº 1 (temperatura ambiente máxima igual a 30°C), até um valor máximo de

0,080, para o caso do teste nº 10 (temperatura ambiente, mínima, igual a 10°C), indicando a grande influência da temperatura ambiente nesta propriedade do R12, na sucção do compressor. Ocorreu que, à medida que a temperatura do ar ambiente diminuiu, a temperatura e a pressão de evaporação do refrigerante também diminuíram. Como consequência, a temperatura do refrigerante à entrada do compressor diminuiu, aumentando, assim, o volume específico do gás. O aumento do volume específico diminuiu o fluxo de massa do refrigerante promovido pelo compressor, cujos valores estiveram dentro de uma faixa compreendida entre um máximo de 73,7 e um mínimo de 47,9 Kg/h. A consequência final foi a diminuição do calor de compressão, do calor de condensação e do calor de evaporação, verificados no Quadro 20, à medida que diminuía a temperatura ambiente, não obstante ter se verificado uma tendência inversa nos coeficientes de "performance" do ciclo do refrigerante. Ocorreu que, apesar da diminuição da temperatura ambiente ter influenciado negativamente a capacidade da bomba de calor, houve uma maior influência no compressor, haja vista que entre os valores máximo e mínimo da quantidade de calor recebida pelo R12 neste elemento houve uma diminuição de 56%, enquanto que as máximas quedas verificadas no evaporador e no condensador foram somente 23,4 e 31,1% respectivamente. Tal constatação é resultante do fato da temperatura do ar ambiente ter influenciado muito mais a diferença de entalpia do refrigerante durante sua passagem pelo compressor do que na passagem pelo condensador ou evaporador (Quadro 19). Enquanto que nestes dois últimos elementos praticamente não houve alteração significativa da diferença de entalpia do R12, no compressor, entretanto, nos testes nº 1 e nº 10, citados no parágrafo anterior, houve uma diminuição de 6,25 para 4,25 Kcal/Kg, respectivamente, ou seja, uma queda de 32%. Tal diminuição foi consequência da aproximação das linhas de evaporação e condensação, uma

vez que a diminuição da temperatura do ar ambiente, não obstante ter diminuído a pressão de evaporação do R12, diminuiu, de modo mais acentuado, sua temperatura de condensação. (Quadro 18). Isto pode ser evidenciado ao se constatar que, para os mesmos testes de nº 1 e nº 10, as diferenças entre a pressão de condensação e de evaporação foram, respectivamente 8,3 e 4,4 kg/cm².

Quadro 20. Comportamento dos elementos constituintes da bomba de calor, pelo lado do refrigerante, nos 10 testes efetuados com o equipamento.

teste nº	fluxo de massa do R12 (Kg/h)	calor recebido pelo R12 (Kcal/h)			calor fornecido pelo R12 (Kcal/h)		COP de resfriamento	COP de aquecimento
		evaporador	compressor	super-aquecimento	condensador	subresfriamento		
1	73,7	2064	461	92,1	2469	73,6	4,48	5,68
2	69,6	2018	435	69,6	2384	69,6	4,64	5,80
3	56,3	1703	324	70,4	1970	84,5	5,26	6,48
4	54,7	1627	328	82,1	1901	82,1	4,96	6,21
5	56,3	1689	324	56,3	1956	56,3	5,22	6,39
6	51,1	1686	243	25,5	1852	51,1	6,95	8,05
7	51,1	1674	204	38,3	1788	76,6	8,19	9,38
8	51,1	1686	204	25,5	1801	76,6	8,25	9,38
9	51,1	1686	217	38,3	1840	51,1	7,76	8,94
10	47,9	1581	203	47,9	1700	71,8	7,76	9,00

O Quadro 21 apresenta os resultados da quantidade de calor recebida pelo ar ao passar pelo condensador, da quantidade de calor cedida ao passar pelo evaporador e os coeficientes reais de "performance" de resfriamento e de aquecimento, em relação ao consumo total de energia elétrica da bomba de calor e em relação somente

Quadro 21. Comportamento da bomba de calor, pelo lado do ar, nos 10 testes efetuados com o equipamento

teste nº	calor recebido pelo ar no condensador		calor cedido pelo ar no evaporador		COP de aquecimento*		COP de resfriamento*	
	(kcal/h)	(KW)	(kcal/h)	(KW)	A	B	A	B
1	2197	2,555	944	1,098	1,98	2,29	0,85	0,98
2	2466	2,867	1670	1,942	2,22	2,56	1,50	1,74
3	2186	2,542	1407	1,636	1,97	2,27	1,26	1,46
4	1981	2,303	1069	1,243	1,78	2,06	0,96	1,11
5	1577	1,834	1112	1,293	1,42	1,64	1,00	1,16
6	1630	1,895	672	0,781	1,47	1,69	0,60	0,70
7	1481	1,722	1123	1,306	1,33	1,54	1,01	1,17
8	1554	1,807	1276	1,484	1,40	1,62	1,15	1,33
9	1623	1,887	1176	1,367	1,46	1,69	1,06	1,22
10	1511	1,757	1226	1,426	1,36	1,57	1,10	1,28

A = em relação ao consumo total de energia elétrica pela bomba de calor;

B = em relação ao consumo de energia elétrica do motor do compressor.

do consumo de energia elétrica do motor do compressor.

A diminuição da quantidade de calor fornecida pelo refrigerante no condensador, como consequência da diminuição que ocorreu na temperatura do ar ambiente, afetou os valores da quantidade de calor recebida pelo ar ao passar por este elemento do sistema. Enquanto que no teste nº 2 o ar recebeu 2466 kcal/h de aquecimento no teste nº 7 recebeu somente 1511 kcal/h. Como consequência, os coeficientes reais de "performance" de aquecimento situaram-se entre um valor máximo de 2,56 e um valor mínimo de 1,54, levando-se em consideração o consumo de energia promovida somente pelo motor do compressor.

Pelo lado do evaporador, a variação dos valores da quantidade de calor cedida pelo ar foi bastante aleatória, dentro dos 10 testes realizados, não guardando, assim, a mesma relação observada para o caso da quantidade de calor recebida pelo refrigerante, com respeito à temperatura ambiente. Neste caso, os coeficientes reais de "performance" de resfriamento estiveram dentro de uma faixa que variou desde 0,70 (teste nº 6) até 1,74 (teste nº 2), quando se levou em consideração o consumo de energia promovido somente pelo motor do compressor.

Pelos Quadros 20 e 21 observa-se que houve grande diferença entre os valores dos coeficientes de "performance" reais e os obtidos do ciclo do refrigerante, tanto para o caso do aquecimento como para o caso do resfriamento. Ocorre que, além das eficiências globais de troca de calor envolvendo as condições do refrigerante e do ar ambiente e o material empregado na construção do condensador e do evaporador, há, pelo lado do sistema motor-transmissão-compressor, perdas de energia elétrica consumida da rede na forma de calor, fric-

ção, ruídos, etc.

Utilizando-se o valor médio do calor recebido pelo ar no condensador, dentre os 10 testes realizados, e comparando-o com o valor médio do calor cedido pelo R12 neste elemento, obtêm-se uma eficiência global média de aquecimento de 92,5%. De modo análogo, a eficiência global média de resfriamento do evaporador foi de 67,0%. Pelo lado do sistema motor-transmissão-compressor, comparando-se o aquecimento promovido por este ao refrigerante em relação ao consumo de energia elétrica promovido pelo motor do compressor encontrou-se, em cada um dos testes, a eficiência global de compressão do referido sistema (Quadro 22).

Quadro 22. Eficiência global de compressão do sistema motor-transmissão-compressor, nos 10 testes realizados com a bomba de calor, em relação ao consumo de energia elétrica do motor do compressor

teste nº									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
47,9	45,2	33,7	34,1	33,7	25,3	21,2	21,2	22,6	21,1

Ao se observar os valores constantes no Quadro 22, evidenciou-se que o sistema motor-transmissão-compressor operou com bastante ineficiência, tornando-se o principal responsável pela obtenção de valores de COP reais tão baixos quanto os indicados no Quadro 21.

5.4 - Secagem com ar natural

Os valores da temperatura e da umidade relativa, de 2 em 2 horas, durante o período da secagem são mostrados no Anexo 2. Os valores diários mínimos, médios e máximos da temperatura e umidade relativa do ar ambiente durante a secagem são indicados na Figura 25. Durante todo o experimento, os valores médios da temperatura e da umidade relativa do ar ambiente foram 23°C e 61%, respectivamente, enquanto que os valores mínimos se situaram em 16°C e 37% e os valores máximos em 33°C para a temperatura e 81% para a umidade relativa.

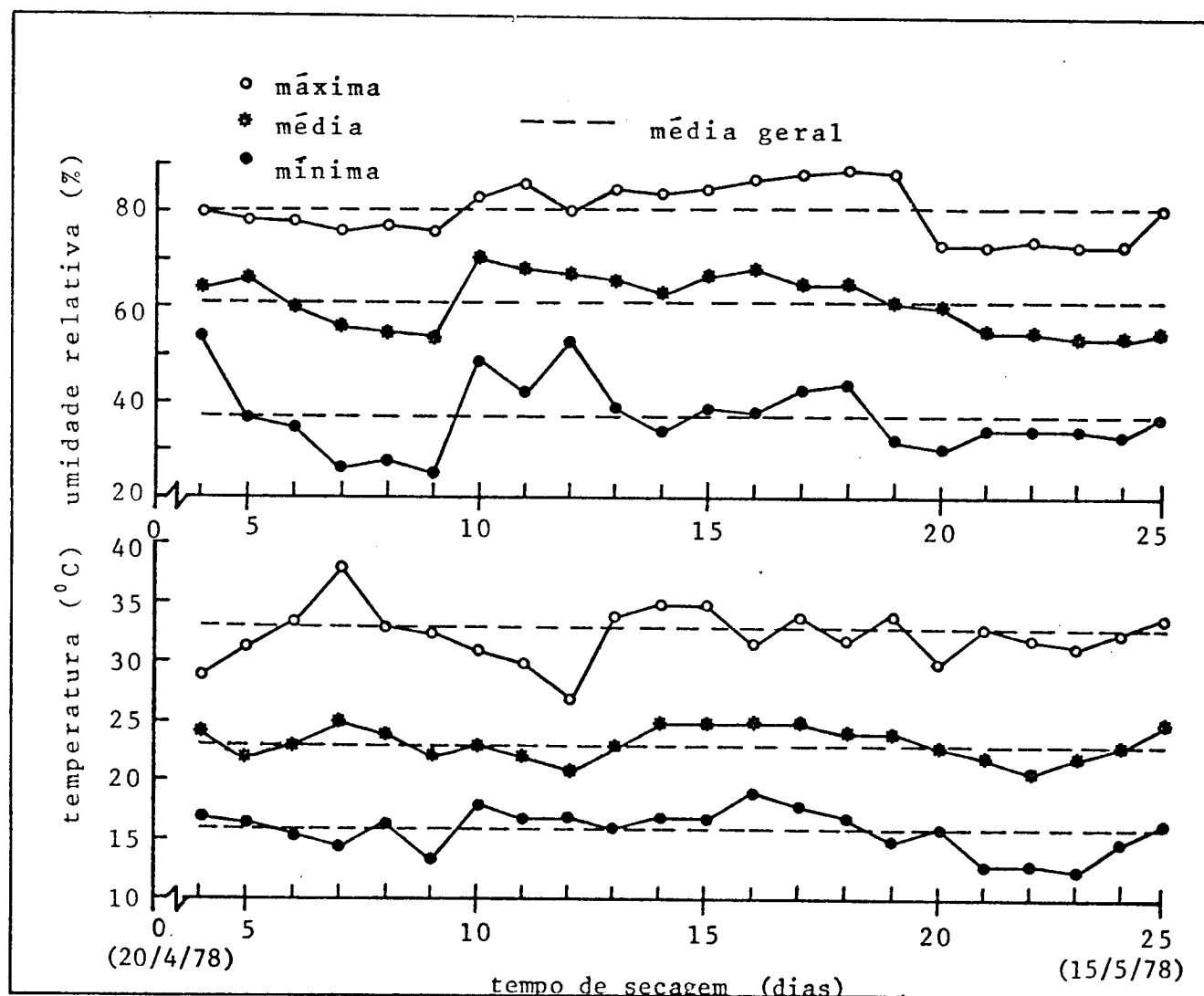


Figura 25. Temperatura e umidade relativa diárias do ar ambiente durante a secagem natural,

Nas condições de operação utilizada nos dois experimentos de secagem as sementes de soja, partindo inicialmente com 14,5% de umidade, após 18 dias estavam, em média, com 12% de umidade. A secagem completa, nos dois silos, demorou 25 dias, ao final da qual as sementes permaneceram com teor de umidade, em média, de 9,9%. As Figuras 26 e 27 mostram, respectivamente, as curvas de secagem obtidas nos silos A e B. No Apêndice 3 são encontrados os valores do teor de umidade das sementes, tanto do silo A como do silo B, em função do tempo de secagem.

O fato da secagem com ar em condições ambientais ter se processado ininterruptamente fez com que, durante o período noturno, as camadas mais inferiores do silo, já parcialmente secas, se reumidificassem. Assim, deixando parte de sua umidade nas camadas inferiores, o ar, à saída destas, teve sua capacidade de secagem aumentada, conseguindo secar, mesmo no período noturno, as camadas mais superiores do silo. Este fato torna-se importante ao se levar em consideração que o sucesso da operação da secagem em silos estacionários deve-se, principalmente, ao tempo que se demora para que as camadas superiores tenham seu teor de umidade diminuído a um nível seguro, de acordo com as condições de operação empregadas e de acordo com a finalidade a que se destina o produto final (102). Ao final da secagem praticamente não houve diferença nos teores de umidade das sementes das várias camadas dos silos. As camadas 1 a 5 apresentaram, no silo A, respectivamente, teores de umidade de 9,3; 9,8; 9,8; 9,9 e 10,4%, perfazendo uma média de 9,8%, enquanto que no silo B tais valores foram 9,7; 9,8; 10,0; 10,2 e 9,9%, com um valor médio de 9,9%.

O consumo de energia elétrica, para tanto, no silo B, foi de 384 Kwh, ou seja, 1,37 Kwh/kg de água evaporada, ou ainda,

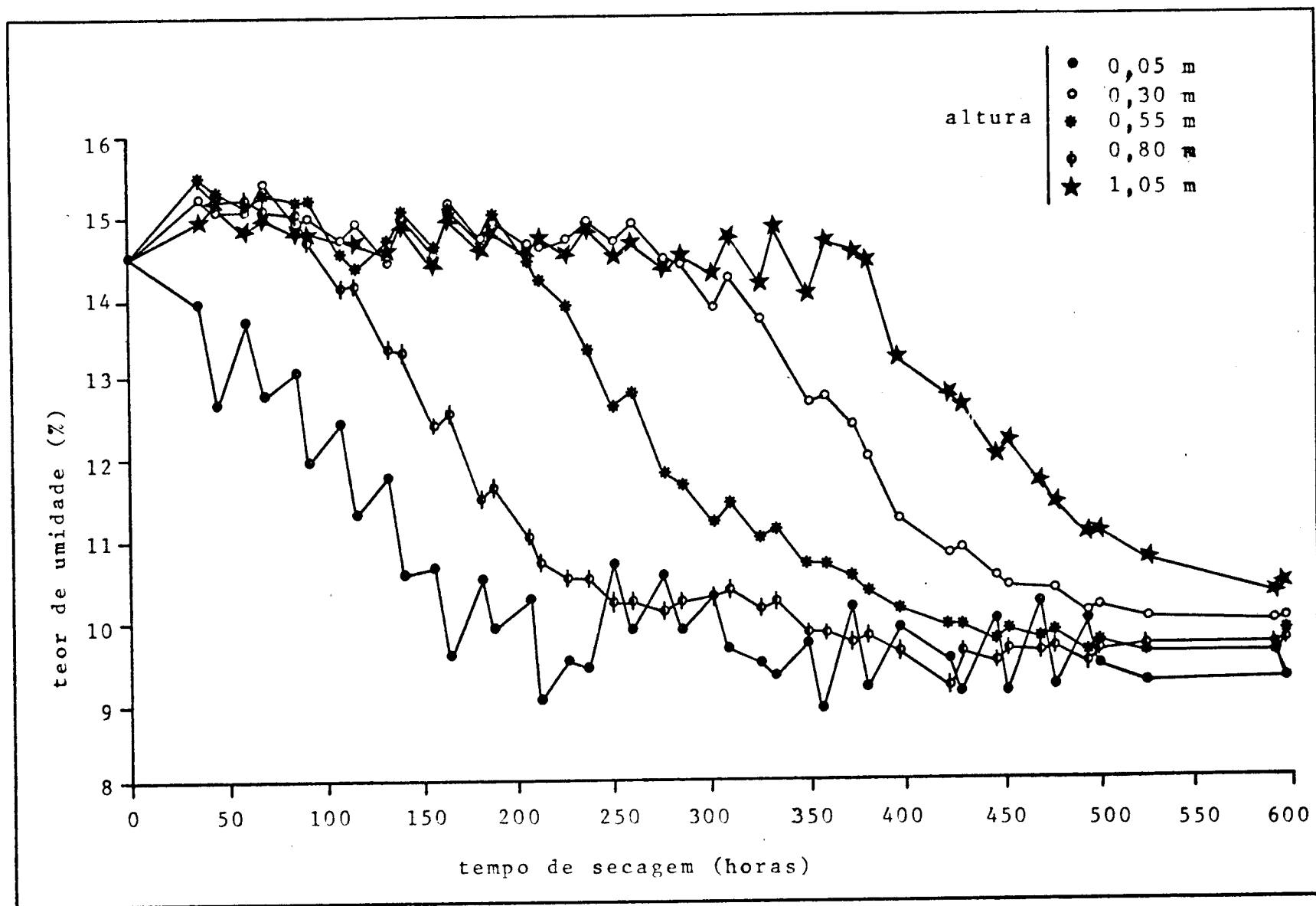


Figura 26. Curvas de secagem de sementes de soja com ar natural (silo A),

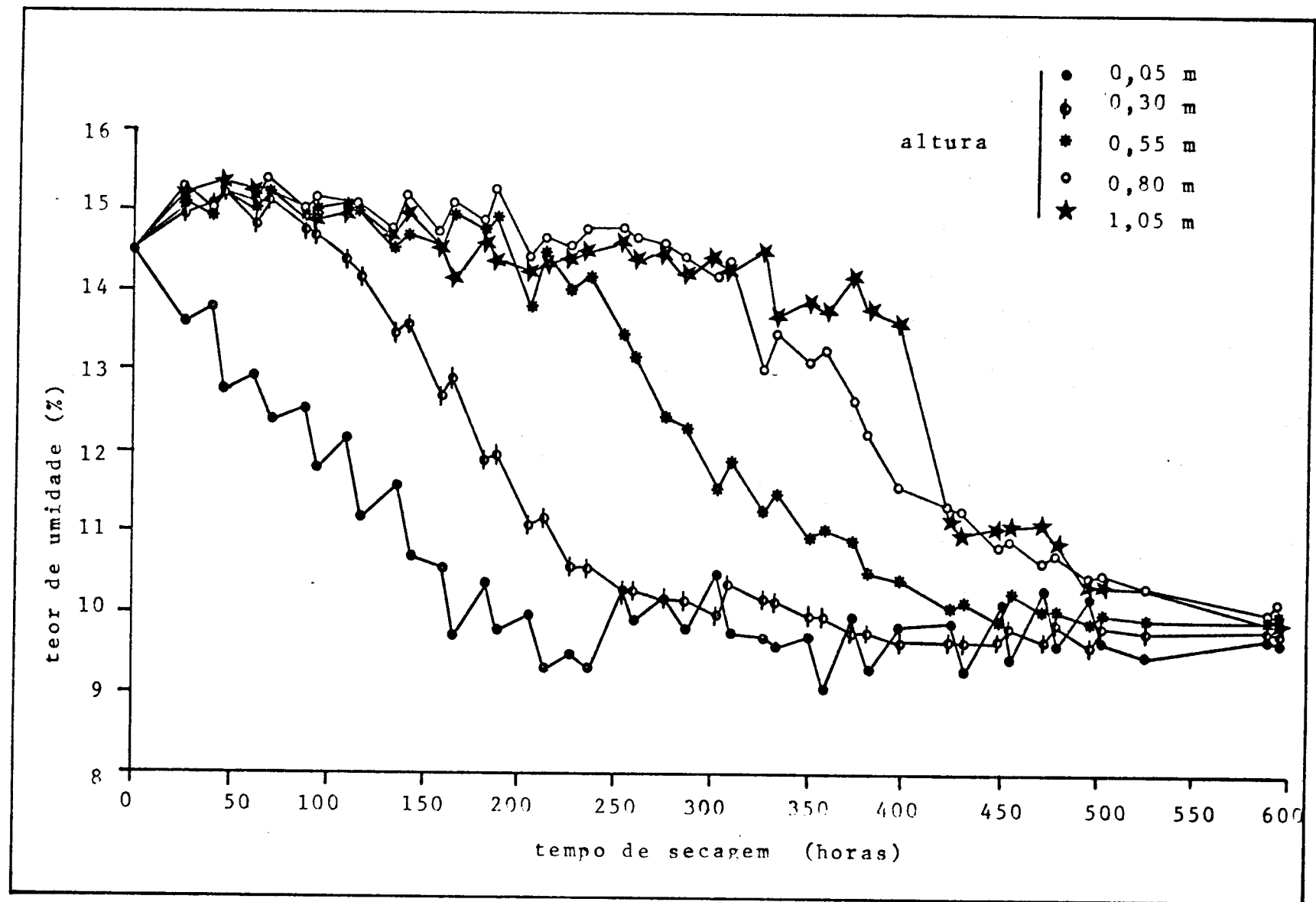


Figura 27, Curvas de secagem de sementes de soja com ar natural (silo B).

73,6 Kwh/tonelada de produto seco a 9,9% de umidade. Adotando-se como final da secagem o momento em que a última camada do silo atingisse 12% de umidade pela primeira vez (o que ocorreu após 415h de operação ininterruptas) as camadas 1 a 5 apresentaram, respectivamente, teores de umidade de 9,9; 9,7; 10,2; 11,4 e 12,0%, perfazendo uma média de 10,6% de umidade. Nesta condição, o consumo de energia elétrica foi de 268,1 Kwh, ou seja, 1,12 Kwh/Kg de água evaporada, ou ainda, 51 Kwh/tonelada de produto seco a 10,6% de umidade.

O aquecimento do ar ambiente promovido pelo ventilador centrífugo, nos dois testes efetuados após a secagem, nas vazões empregadas, foi de 1,5 a 1,8°C, em períodos nos quais a temperatura ambiente variou de 10,5 a 12,1°C e a umidade relativa de 79,6 a 82,5%. Desta forma, a quantidade média de calor fornecida ao ar pelo ventilador centrífugo, dentro do período e sob as condições médias dos dois testes, foi de 380 Kcal/h.

5.5 - Secagem com ar natural complementado com a bomba de calor.

Sob as condições de operação do experimento de secagem realizado em 1979, onde se utilizou ar ambiente das 06:00 às 22:00 h e ar ligeiramente aquecido pelo condensador do equipamento frigorífico das 22:00 às 06:00 h, as sementes de soja, partindo com 21,2% de umidade, atingiram, em média, 10,8% de umidade após 92 h. As condições médias de temperatura e umidade relativa do ar ambiente, durante todo o experimento, foram 19,6°C e 66,8%, respectivamente. Durante o funcionamento do equipamento frigorífico, os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar ambiente foram 15,2 e 74,1%, respectivamente, enquanto que das 06:00 às 22:00 h esses valores fo

ram 22,4°C e 62,6%.

O Apêndice 4 contém as condições horárias do ar ambiente durante o período da secagem. A Figura 28 mostra as curvas de variação e os valores médios da temperatura do ar antes e após a passagem pelo condensador e após a passagem pelo ventilador centrífugo, durante as 92 horas do experimento.

Pela Figura 28 pode-se observar o aquecimento do ar ambiente promovido pelo condensador e pelo ventilador centrífugo durante os períodos noturno e diurno da secagem. No período das 06:00 às 22:00 h, no qual a bomba de calor estava desligada, o aquecimento médio do ar ambiente foi de 2,8°C ao passar pelo ventilador centrífugo, à razão de 15m³/min. Das 22:00 às 06:00 h, onde ambos funcionavam, a temperatura do ar ambiente aumentou em média 6,0°C ao passar pelo condensador e 1,8°C ao passar pelo ventilador centrífugo, totalizando 7,8°C de acréscimo.

O Apêndice 5 mostra, em intervalos de 1 h, a temperatura do ar antes e após o condensador, após o ventilador centrífugo e nas 6 posições internas ao silo C durante as 92 horas da secagem.

Como consequência do aquecimento do ar durante o período noturno, as curvas de secagem das várias camadas de sementes de soja no interior do silo C, (Figura 29), não apresentaram reumidificações, exceto para as 3 últimas ao final de 4 h de secagem. Ao final das 92 h de secagem as camadas 1 a 6 apresentaram, respectivamente, 9,8; 10,0; 10,4; 10,8; 11,6; e 12,3% de umidade, perfazendo um teor médio de 10,8%. Os valores do teor de umidade das sementes nas 6 posições, em função do tempo da secagem são mostradas no Apêndice 6.

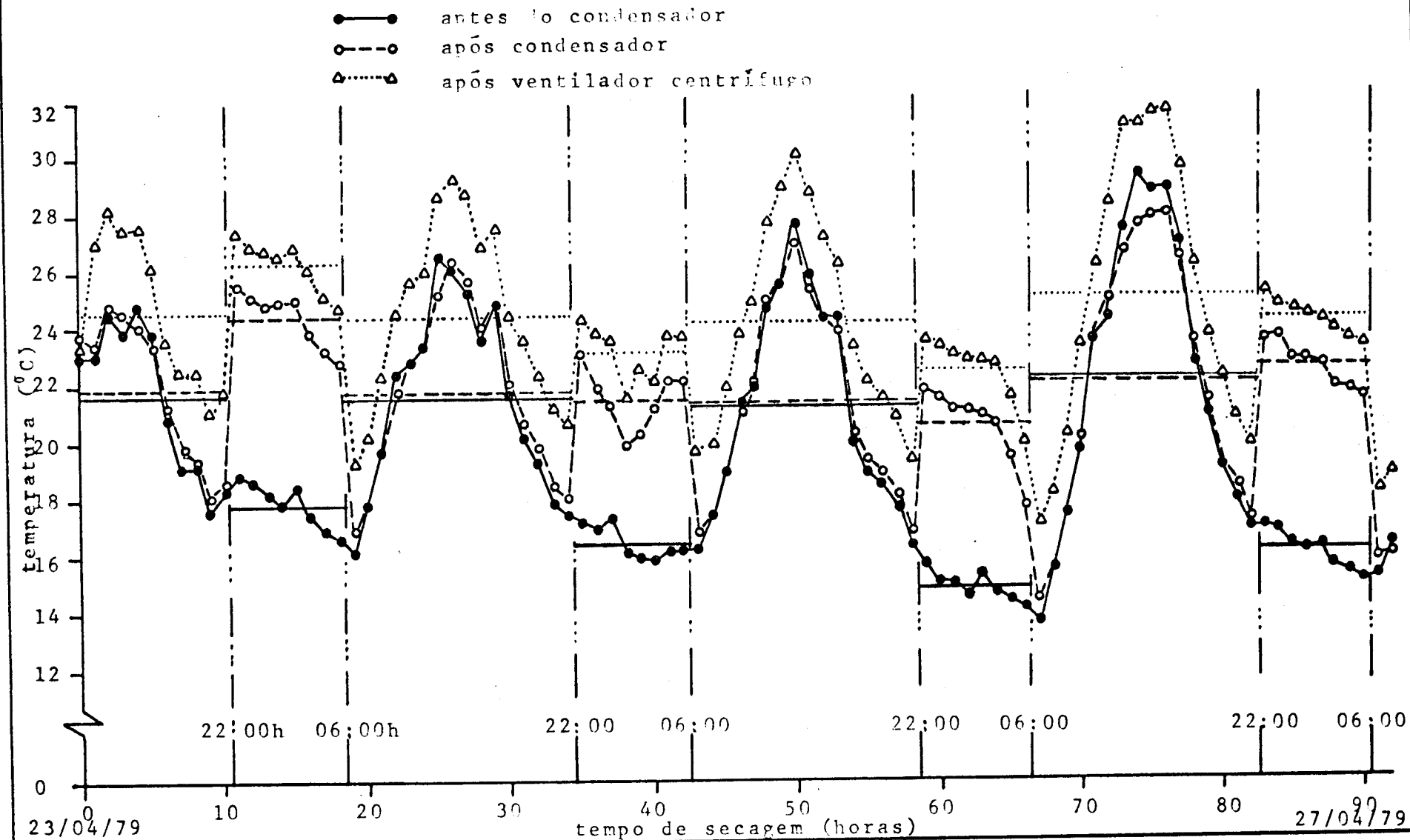


Figura 28. Temperatura do ar durante a secagem com ar natural complementado com a bomba de calor.

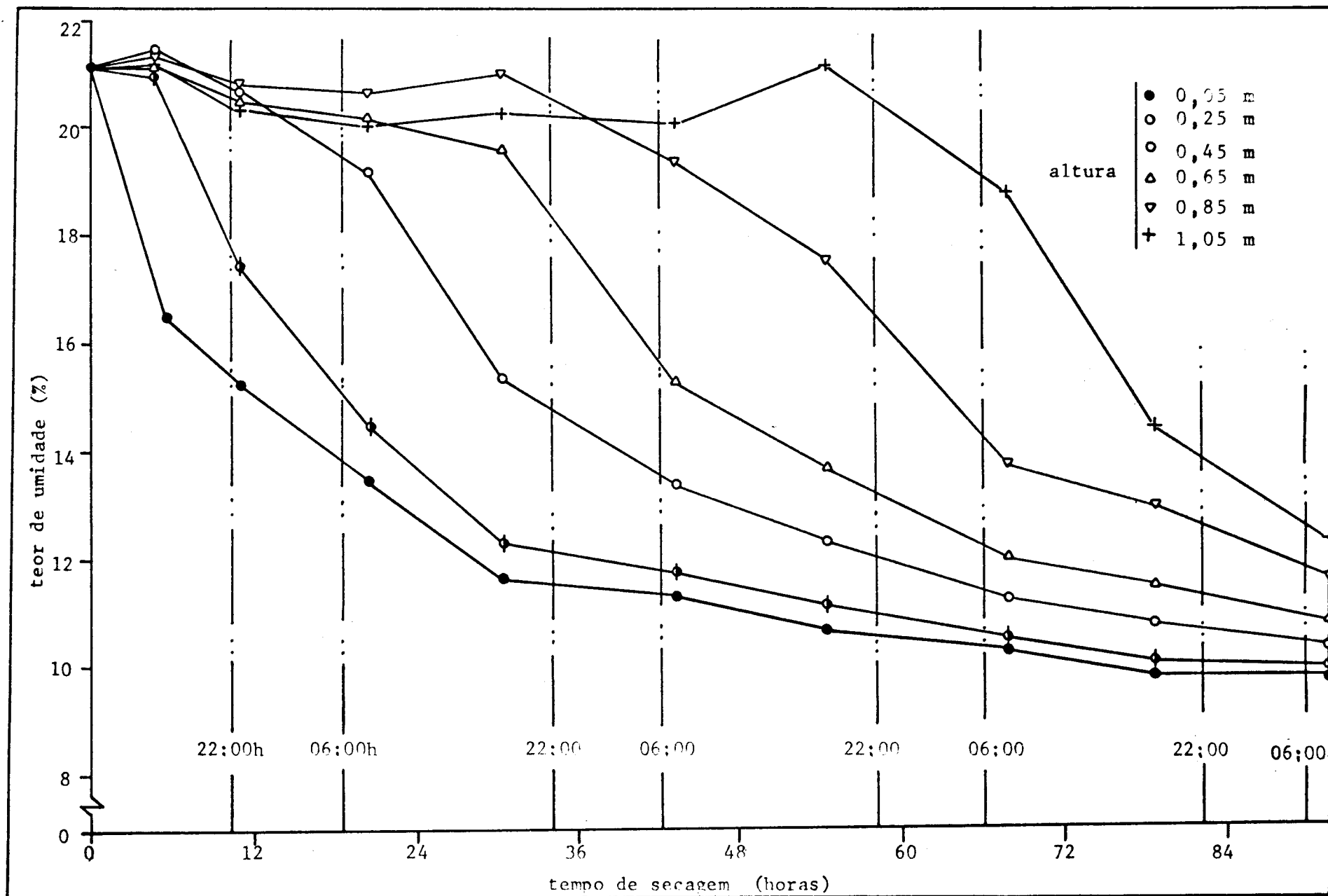


Figura 29. Curvas de secagem de sementes de soja com ar natural complementado com a bomba de calor.

Durante as 24 h efetivas de funcionamento do equipamento frigorífico este consumiu 31 Kwh, dos quais 26,8 Kwh devido ao motor do compressor, enquanto que o ventilador centrífugo, que operou ininterruptamente as 92, consumiu 135 Kwh, totalizando 166 Kwh, ou seja, 0,96 Kwh/kg de água evaporada, ou ainda, 125 Kwh/tonelada de produto seco a 10,8% de umidade.

A quantidade de calor recebida pelo ar ao atravessar o ventilador centrífugo foi, em média, 665 Kcal/h durante o período das 06:00 às 22:00 h e, em média, 430 Kcal/h durante o período das 22:00 às 06:00 h.

A quantidade de calor fornecida ao ar ambiente pelo condensador durante o período de funcionamento do equipamento frigorífico foi, em média, 1468 Kcal/h, o que forneceu um valor de COP real de aquecimento igual a 1,53, quando se considerou o consumo de energia promovido somente pelo motor do compressor. Ao se considerar o consumo de energia elétrica total promovido pela bomba de calor, o COP real de aquecimento passou a ser 1,32.

Os valores de COP aqui obtidos foram praticamente iguais aos do teste nº 7 de desempenho da bomba de calor (Quadro 21), onde as condições do ar ambiente (13°C de temperatura e 80% de umidade relativa) foram próximas às condições médias reinantes no experimento da secagem, durante o período de uso do equipamento (15,2°C de temperatura e 74,1% de umidade relativa).

5.6 - Germinação e vigor das sementes antes e após as operações de secagem

Os resultados de germinação e vigor antes e após a secagem nos silos A e B são mostrados no Quadro 23.

Quadro 23. Resultados de germinação e vigor das sementes de soja antes e após a secagem com ar natural

silo	<u>antes da</u>		teste	<u>após a secagem</u>					
	<u>secagem</u>			altura do silo a partir da chapa perfurada					
	G(%)	V(%)		(m)					
				0,05	0,30	0,55	0,80	1.05	média
A	98	32	G(%)	92	92	96	97	96	95
			V(%)	28	4	6	2	3	9
B	98	25	G(%)	98	95	94	94	96	95
			V(%)	10	8	6	13	3	8

A germinação das sementes, inicialmente 98% para ambos os silos, diminuiu para 95%, em média. O vigor, por outro lado, variou desde 32% (no início) até 9%, em média, ao final da secagem no silo A; enquanto que no silo B variou desde um valor inicial de 25% até um valor final de 8%, em média.

Os valores iniciais de vigor caracterizaram uma semente que já havia sofrido um ou mais tipos de injúrias antes da secagem. O fato da semente ter chegado ao local do experimento com 14,5% de umidade indica a possibilidade de ter havido retardamento na sua colheita, o que já a prejudica parcialmente do ponto de vista fisiológico, não obstante a germinação ainda ter sido de 98%. Com o vigor já bastante reduzido antes do início da secagem, este caiu ainda mais durante o experimento. Entretanto, somente parte desta queda deveu-se, de fato, à operação de secagem, uma vez que ao se verificar, posteriormente, os boletins das análises, constatou-se que as sementes haviam permanecido mais 24 dias no laboratório a 30°C e 30% de umidade relativa, antes dos testes de vigor propriamente ditos, pela falta momentânea das câmaras necessárias; o que não ocorreu

com as sementes destinadas aos testes de germinação, e nem com as amostras anteriores ao início da secagem. Para efeito de comparação, as sementes mantidas armazenadas por 2 meses no silo refrigerado, B, apresentaram, ao final desse período, mesmo após uma semana de permanência no laboratório, em média, 24% de vigor; as do silo A após o mesmo período, apresentaram 20% de vigor (Quadro 26).

O Quadro 24 apresenta os valores da germinação das sementes de soja antes e após a secagem no silo C.

Quadro 24. Resultados de germinação das sementes de soja antes e após a secagem complementada com a bomba de calor (silo C).

(%)

fase da secagem	altura no silo a partir da chapa perfurada (m)						média
	0,05	0,25	0,45	0,65	0,85	1,05	
antes	86	86	86	84	91	92	88
após	86	85	83	82	84	89	85

Da mesma forma que na secagem com ar natural nos silos A e B, as sementes secas no silo C sofreram apenas uma pequena queda na germinação, ou seja, de 88% em média, antes da operação, para 85%, em média, ao final desta. Não obstante, a matéria prima do silo C, com teor de umidade de 21,2%, em média, apresentou germinação inferior à matéria prima utilizada nos silos A e B, (88% contra 98%, respectivamente), estas últimas com teor de umidade inicial de 14,5%, em média. Este fato demonstra que a matéria prima utilizada na secagem do silo C apresentou qualidade fisiológica ainda inferior à da secagem com ar natural, cujo vigor foi de apenas 32% para as do

silos A e 25% para as do silo B. A qualidade inferior da matéria prima utilizada no silo C, associada com o alto teor de umidade inicial observado (21,2%), pode ter sido, principalmente, consequência da reumidificação das sementes ainda na planta, antes da colheita. Levou-se em consideração, também, para justificar tal fato, as informações fornecidas pelos técnicos do Posto de Sementes da CATI, Avaré - SP, nas quais indicam a ocorrência de chuvas antes da colheita das sementes utilizadas no silo C. De qualquer forma, uma queda de germinação acima da que se observou na secagem do silo C, que certamente ocorreria sob as condições da secagem com ar natural, tendo em vista a qualidade inferior da matéria prima, foi evitada, em virtude do aumento da velocidade de secagem, aumento este provocado pelas seguintes razões:

- a) a vazão de ar empregada na secagem do silo C, $10\text{m}^3/\text{min}$, tonelada de produto úmido, foi superior às vazões empregadas nos silos A e B, respectivamente, 2,8 e $2,7\text{m}^3/\text{min}$. tonelada de produto úmido;
- b) o ar de secagem do silo C recebeu, em média, 665 Kcal/h de aquecimento devido sua passagem pelo ventilador centrífugo das 06:00 às 22:00h e, em média, 1898 Kcal/h (1467 Kcal/h do condensador e 430 Kcal/h do ventilador centrífugo) dentro do período das 22:00 às 06:00 h, enquanto que o ar de secagem dos silos A e B recebeu, em média, 380 Kcal/h de aquecimento ao passar pelo ventilador centrífugo.

5.7 - Armazenamento

A Figura 30, mostra a variação média mensal da temperatura mínima, média e máxima do ar ambiente do local onde foram armazenadas as sacas, bem como a temperatura média das sementes do inte-

rior destas. A Figura 31 apresenta as variações médias mensais observadas na umidade relativa mínima, média e máxima do ar ambiente e a variação do teor de umidade médio das sementes nas sacas.

Durante todo o experimento, os valores médios da temperatura e umidade relativa do ar ambiente próximo às sacas foram, respectivamente, $22,8^{\circ}\text{C}$ e $66,8\%$, enquanto que as sementes ali armazenadas permaneceram, em média, com $10,6\%$ de umidade. No período no qual se mediu a temperatura das sementes no interior das sacas (março/79 a outubro/79) estas permaneceram, em média, a $20,6^{\circ}\text{C}$ enquanto que o ar ambiente se manteve a $20,8^{\circ}\text{C}$.

A Figura 32 indica a variação da temperatura média mensal do ar ambiente nos períodos entre 06:00 e 22:00h e entre 22:00 e 06:00h e a variação da temperatura média das sementes armazenadas nos silos A e B. A Figura 33 indica as variações observadas na umidade relativa do ar ambiente e no teor de umidade das sementes durante o armazenamento nos silos A e B. Durante todo o experimento, os valores médios da temperatura e umidade relativa do ar ambiente próximo nos silos foram, respectivamente, $21,4^{\circ}\text{C}$ e $68,6\%$. As sementes armazenadas no silo A permaneceram, em média, com $21,9^{\circ}\text{C}$ e $11,6\%$ de umidade, enquanto que as do silo B permaneceram, em média, com $18,8^{\circ}\text{C}$ e $9,6\%$ de umidade.

Os resultados experimentais utilizados para a construção das Figuras 30, 31, 32 e 33 são mostrados nos Apêndices 7, 8, 9, 10 e 11.

Comparando-se os resultados médios das condições do ar ambiente próximo aos silos e próximo às sacas observa-se que houve uma variação bem menor na temperatura e na umidade relativa do ar ambiente interno ao armazém, devido à atuação de suas paredes e tetos e devido à boa circulação de ar no recinto. Tal fato fez com que as

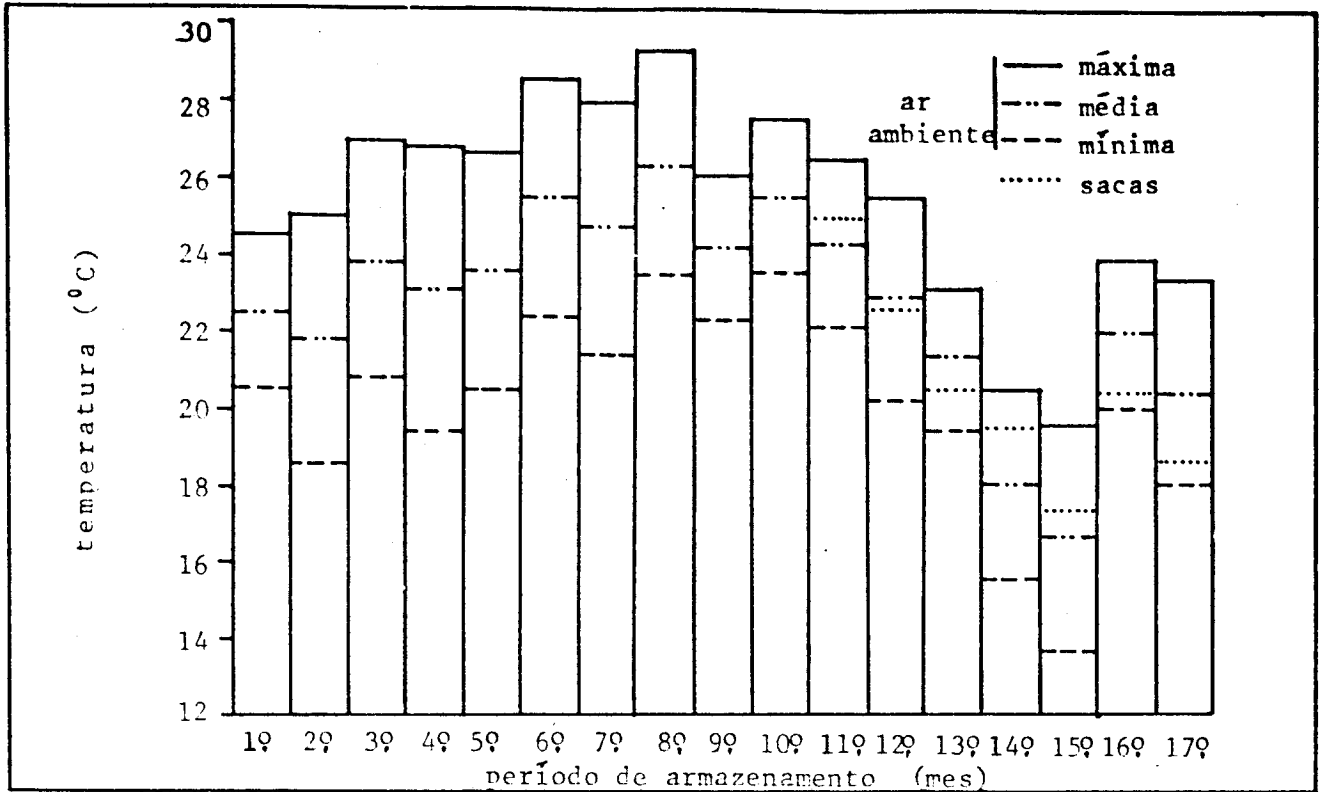


Figura 30. Temperatura média mensal do ar ambiente e das sementes de soja durante o armazenamento em sacas.

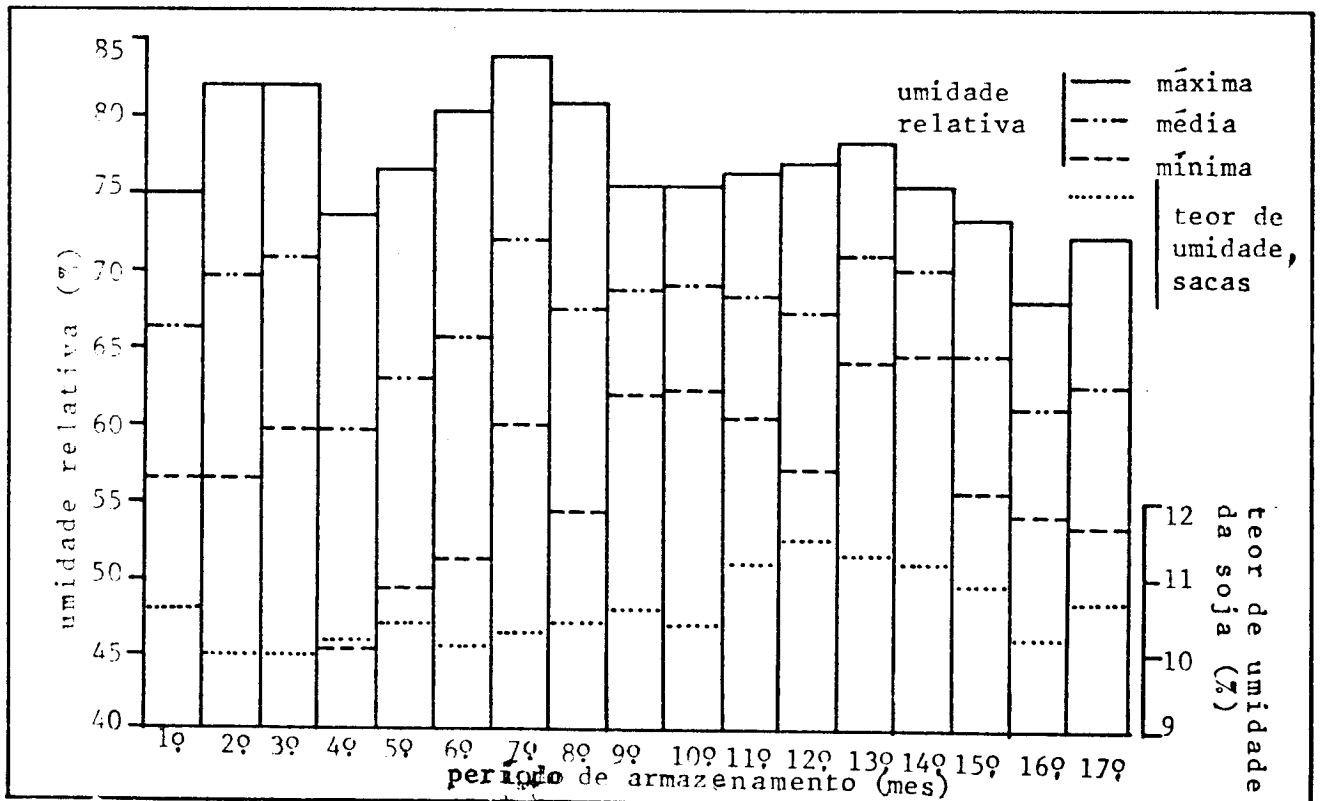


Figura 31. Umidade relativa média mensal do ar ambiente e teor de umidade das sementes de soja armazenadas em sacas.

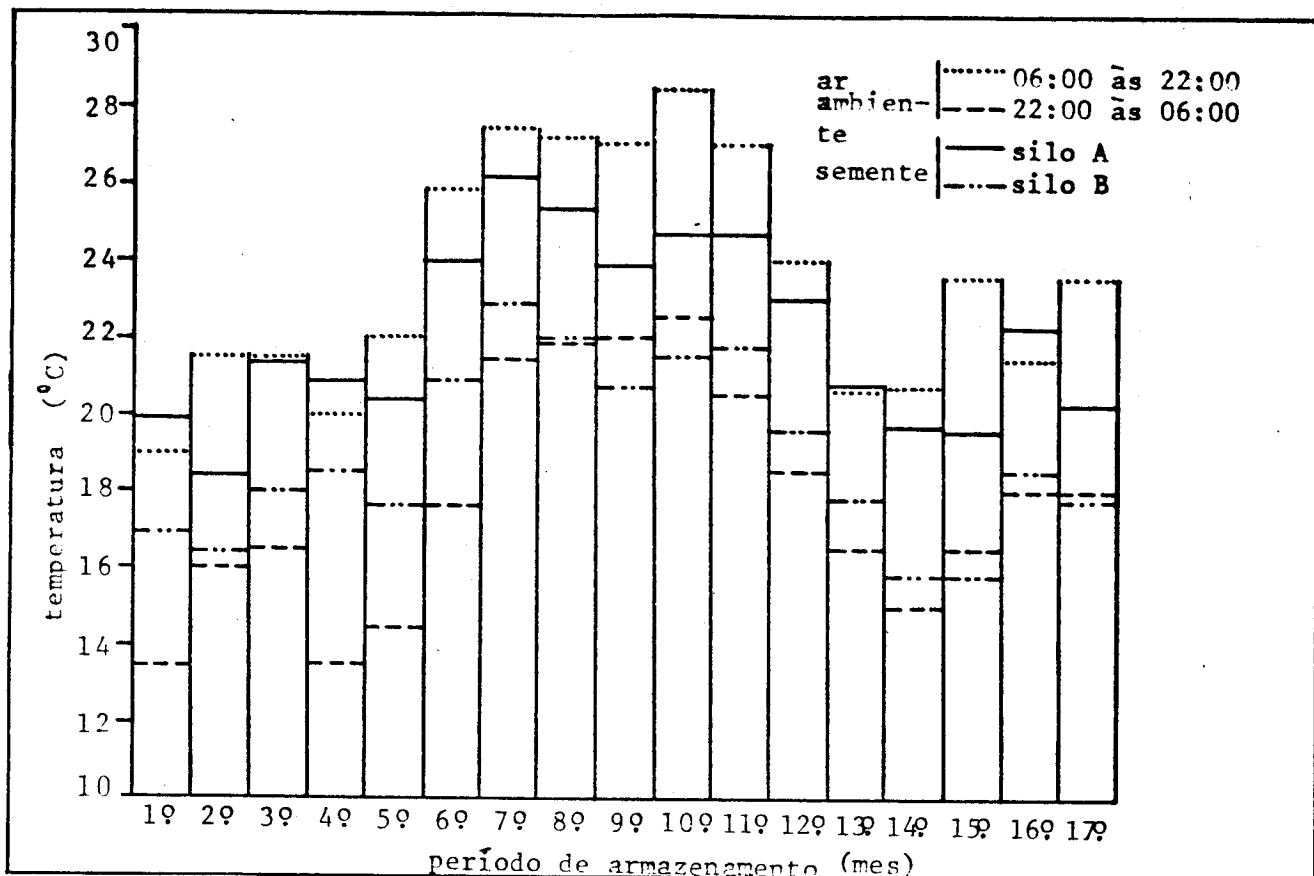


Figura 32. Temperatura média mensal do ar ambiente e das sementes de soja durante o armazenamento com aeração noturna (silos A e B).

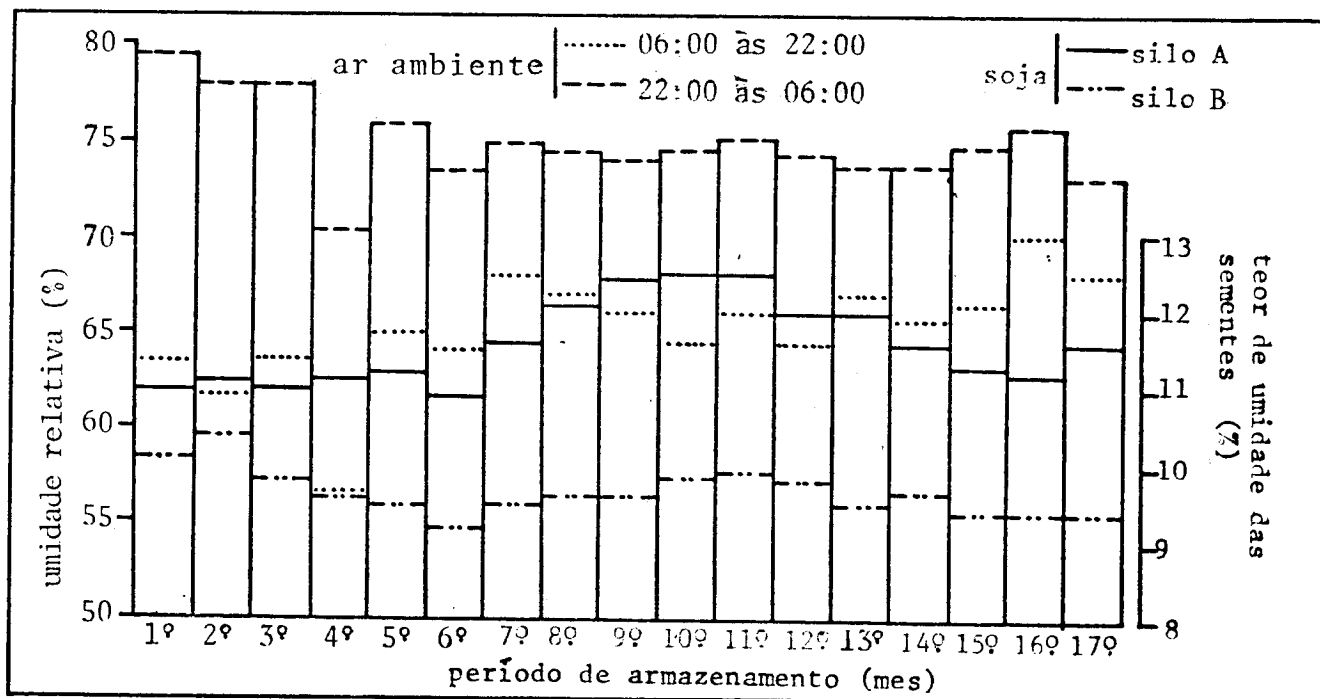


Figura 33. Umidade relativa média mensal do ar ambiente e teor médio de umidade da soja durante o armazenamento com aeração noturna (silos A e B).

sementes armazenadas nas sacas experimentassem menores variações na temperatura e teor de umidade do que as sementes armazenadas nos silos A e B. Praticamente não foram detectadas temperaturas acima das do ar ambiente no interior das sacas devido à boa circulação de ar e devido a quase que desprezível energia liberada pela respiração das sementes, uma vez que estas permaneceram, em média, a 10,6% de umidade, fato este que limitou, também, o desenvolvimento de micro-organismos e insetos (14).

Enquanto que a temperatura média das sementes armazenadas em sacas manteve-se praticamente em valores bem próximos à do ar que a envolvia, ou seja, 22,8°C, o valor da temperatura média das sementes no silo A tendeu a acompanhar o da temperatura média do ar ambiente durante o período das 06:00 às 22:00 h, sendo, em média, 1,6°C menor que a temperatura deste. O valor da temperatura média das sementes do silo B tendeu a acompanhar o da temperatura do ar ambiente durante o período das 22:00 às 06:00 h, sendo, em média, 1,3°C maior que a deste.

Sob as condições de operação dos silos A e B, os teores de umidade das sementes neles contidas permaneceram, em média, com 11,6 e 9,6% de umidade, respectivamente. Assim, enquanto que as sementes armazenadas nas sacas tiveram seu teor de umidade praticamente inalterado, as armazenadas no silo A umidificaram até 11,6%, como consequência das condições médias de entrada do ar durante o período de aeração noturna. As sementes armazenadas no silo B secaram desde 10,6 até 9,6% de umidade em consequência, principalmente, da condensação de parte do vapor de água do ar ambiente durante sua passagem pelo evaporador, diminuindo-lhe, conseqüentemente, a pressão de vapor. Não obstante a umidade relativa do ar à saída do evaporador apresentar valores próximos à saturação, ao atravessar o ventilador

centrífugo, experimentava neste um ligeiro acréscimo de temperatura, à pressão de vapor constante, suficiente para diminuir-lhe a umidade relativa a valores próximos aos do ar antes da passagem pelo evaporador. Por outro lado o aumento parcial da temperatura do ar na passagem pelo ventilador manteve as sementes com temperatura superior àquela que ficariam se fossem submetidas diretamente ao ar de saída do evaporador, contribuindo para que a pressão de vapor da água de sua superfície se tornasse maior. Ocorreram, então, dois efeitos favoráveis à secagem das sementes no silo B: a) condensação do vapor de água do ar no evaporador e b) aquecimento parcial do ar resfriado durante sua passagem pelo ventilador centrífugo utilizado na aeração das sementes. Os resultados experimentais da germinação das sementes mantidas sob os 3 sistemas de armazenamento são mostrados no Quadro 25.

Os resultados médios mensais da germinação (Figura 34) indicam que, inicialmente com 95%, após 12 meses as sementes armazenadas nos 3 sistemas ainda permaneciam com germinação acima de 80%, caindo abruptamente a partir daí para o caso das sementes do silo A. A queda abrupta da germinação das sementes das sacas foi verificada a partir do 14º mês de armazenamento. Ao final dos 17 meses a germinação das sementes do silo B ainda permaneciam, em média, com 86%, enquanto que as das sacas e as do silo A permaneciam, em média, respectivamente, com 40 e 32%.

O Quadro 26 apresenta os resultados dos testes de vigor das sementes de soja mantidas até o 6º mês de armazenamento, onde o critério adotado consistiu em submetê-las, antes do teste normal da germinação, a 44°C e 95-100% de umidade relativa durante 48h. O Quadro 27 apresenta os resultados dos testes de vigor das sementes desde o 8º até o 16º mês de armazenamento, nos quais as

Quadro 25. Germinação das sementes de soja mantidas durante 17 meses
sob os tres sistemas de armazenamento

(%)

tempo de armazena- mento (meses)	silo A						silo B						mēdia de 6 sacas
	altura a partir da chapa perfurada						altura a partir da chapa perfurada						
	(m)						(m)						
	0,05	0,30	0,55	0,80	1,05	mēdia	0,05	0,30	0,55	0,80	1,05	mēdia	
0	92	92	96	97	96	95	98	95	94	94	96	95	95
1	93	96	96	97	95	95	97	95	95	96	96	96	95
2	92	90	94	93	94	93	94	94	95	91	-	94	93
3	94	96	98	97	95	96	96	90	91	91	-	92	96
4	96	96	95	95	95	95	97	94	90	92	-	93	95
5	93	95	96	95	91	94	94	92	92	86	-	92	92
6	96	93	94	96	-	95	95	92	93	91	-	93	91
7	84	88	83	85	-	85	94	88	91	90	-	91	83
8	78	84	85	90	-	84	90	86	90	85	-	88	82
9	80	84	90	92	-	87	93	94	90	92	-	92	90
10	70	87	89	90	-	84	92	91	90	91	-	91	91
12	73	83	90	90	-	84	96	93	91	89	-	92	90
13	65	83	83	83	-	79	94	94	91	88	-	92	87
14	61	79	82	86	-	77	95	95	94	92	-	94	90
15	24	64	67	63	-	55	92	92	95	92	-	93	82
16	21	22	42	38	-	31	97	90	87	80	-	89	66
17	30	40	39	19	-	32	88	88	87	80	-	86	40

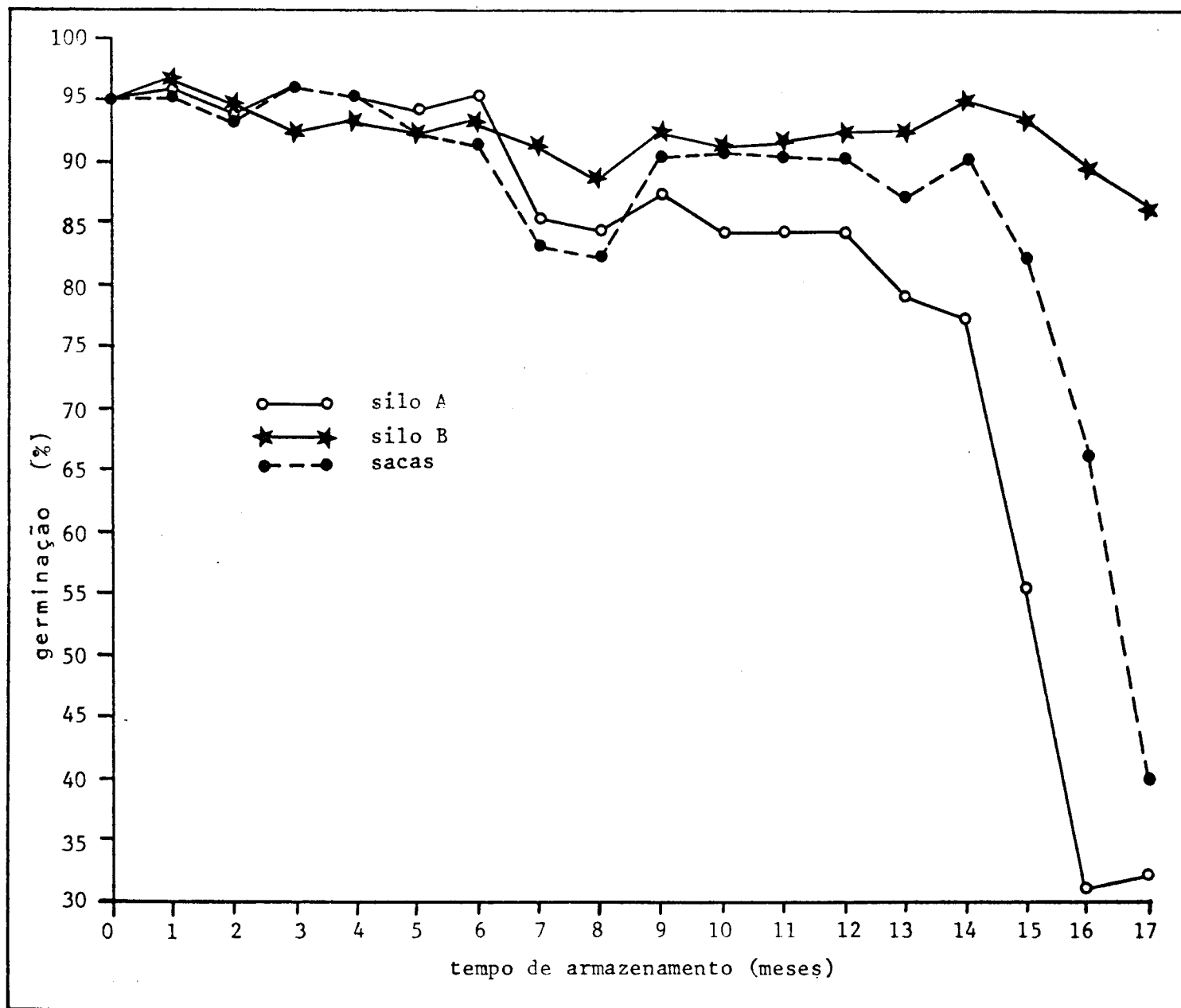


Figura 34. Queda da germinação das sementes de soja submetidas aos três sistemas de armazenamento.

sementes foram submetidas a 42°C e 95-100% de umidade relativa durante 24h antes do teste normal de germinação.

Quadro 26. Vigor das sementes de soja durante o período de armazenamento (teste de vigor original).

tempo de ar- maze- namento to (meses)	tempo no la- bora- tório (dias)*	silo A altura (m)					silo B altura (m)					média de 6 sacas
		0,05	0,30	0,55	0,80	Méd.	0,05	0,30	0,55	0,80	méd.	
0	24	28	6	4	3	10	10	8	6	13	9	9
2	7	21	34	6	19	20	25	21	18	30	24	18
4	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	7	0	0	0	1	0	9	9	12	5	9	0

* refere-se ao tempo que as sementes permaneceram em câmara seca no laboratório (30°C e 30% de umidade relativa), antes do teste de vigor propriamente dito.

Quadro 27. Vigor das sementes de soja a partir do 8º mês de armazenamento (teste original de vigor parcialmente alterado).

tempo de ar- maze- namento to (meses)	tempo no la- bora- tório (dias)	silo A altura (m)					silo B altura (m)					média de 6 sacas
		0,05	0,30	0,55	0,80	Méd.	0,05	0,30	0,55	0,80	Méd.	
8	31	0	0	0	1	0	55	68	65	37	56	0
10	10	3	3	21	5	8	83	89	84	81	84	33
12	30	0	0	0	0	0	50	75	75	21	55	0
14	10	0	0	1	1	1	91	81	85	78	84	12
16	10	0	0	0	0	0	81	83	79	81	81	5

O teste de vigor empregado até o 6º mês de armazenamento mostrou-se bastante severo para avaliar a diferença da qualidade fisiológica entre as sementes armazenadas nos três sistemas estudados. O baixo vigor das sementes, antes mesmo da secagem, já as havia caracterizado como altamente susceptíveis a condições tão drásticas quanto às empregadas nos testes originais. Não obstante, enquanto que os resultados ao final do 2º mês de armazenamento indicaram valores de vigor de 20, 24 e 18% para as sementes dos silos A e B e das sacas, respectivamente, ao final do 4º mês tais valores passaram a 0, 9 e 0, (Quadro 26), fornecendo, assim, a primeira evidência concreta, apesar de não muito relevante, a respeito da diferença da qualidade das sementes armazenadas nos três sistemas utilizados.

A partir do 8º mês, com a alteração parcial do teste original do vigor, as diferenças foram bem mais marcantes. De acordo com o Quadro 27, já no 10º mês de armazenamento as sementes do silo B permaneciam com 84% de vigor, enquanto que as do silo A e as das sacas com 8 e 33%, respectivamente. Após 16 meses esses valores passaram a ser 81, zero e 5%.

Assim, o teste de germinação não foi suficientemente seguro ao indicar os diferentes níveis de qualidade das sementes armazenadas nos 3 sistemas, até o 9º mês de armazenamento. Até o 12º mês ainda não havia fornecido indicação da diferença entre as sementes armazenadas nas sacas e no silo B. O teste original de vigor, apesar de severo, já havia detectado alguma diferença logo no 2º mês de armazenamento, sendo, ao 6º mês, mais evidente. O teste de vigor parcialmente alterado evidenciou ainda mais as diferenças, a partir do momento em que começou a ser empregado.

Durante as 4.008h de operação do ventilador centrífugo do silo A, o consumo de energia elétrica foi de 2.589 Kwh, ou seja, 575 Kwh/tonelada de produto seco a 11,6% de umidade. Durante as 4.008h de operação do ventilador centrífugo do silo B, o consumo de energia elétrica foi de 551 Kwh/tonelada de produto seco a 9,6% de umidade, enquanto que durante o mesmo tempo de operação, o equipamento frigorífico consumiu 5.178 Kwh, totalizando, para o sistema do silo B, 7.768 Kwh, ou seja, 1.653 Kwh/tonelada de produto seco a 9,6% de umidade. Deve-se ressaltar, entretanto, que o consumo de energia elétrica aqui considerado foi o resultado de 17 meses de operação. Na realidade, quando apenas 8 a 9 meses não suficientes para o armazenamento das sementes, uma vez que após este prazo já se inicia a época do plantio da safra seguinte, o consumo de energia cai pela metade, ou seja 826 Kwh/tonelada de produto seco para caso do silo B.

5.8 - Custo anual e análise de investimento do processo da secagem e armazenamento de sementes de soja em silos com a bomba de calor

A análise econômica a respeito da utilização da bomba de calor na secagem e armazenamento de soja em silos foi obtida mediante as condições de operação citadas no item 4.8. Durante a operação da secagem, a temperatura e a umidade relativa do ar ambiente, em média, foram consideradas, respectivamente, 23°C e 61%. Sob tais condições, e para o caso do emprego do equipamento frigorífico testado no item 5.3, seu condensador libera, aproximadamente, em média, 1730 Kcal/h (tomando-se como base a média aritmética entre os resultados obtidos nos testes nº 4, 5 e 6), promovendo, assim, um aquecimento médio de 3°C no ar de secagem. Ao se adotar a vazão de ar de 6m³/min. tonelada de produto úmido a 18%, sob temperatura de 26°C se

riam necessários 16 dias de secagem ininterrupta (Figura 10).

O Quadro 28 mostra os resultados do dimensionamento e do custo dos ventiladores centrífugos e do silos, bem como dos equipamentos frigoríficos envolvidos nas operações com 6, 12 e 18 toneladas de soja inicialmente com 18% de umidade.

Deve-se ressaltar que os motores dos ventiladores centrífugos, pelo fato destes não estarem superdimensionados, não fornecem uma quantidade de calor suficiente para aquecer significativamente o ar que os atravessa, como ocorreu nos experimentos. O acréscimo parcial da temperatura do ar que sai do evaporador poderá ser feito, entretanto, pelo aproveitamento de parte do calor que está sendo gerado no condensador da bomba de calor.

O Quadro 29 apresenta o consumo de energia elétrica previsto para os vários motores envolvidos no processo. O custo da energia elétrica consumida, em abril de 1980, para uma empresa localizada na zona rural, foi de Cr\$ 0,468/Kwh; o custo do fator de demanda foi de Cr\$ 151,20/Kwh instalado.

Os resultados do custo anual do processo da secagem e armazenamento com a bomba de calor, para as 3 capacidades de produção, são indicados no Quadro 30.

Observa-se, através do Quadro 30, que apesar do aumento do custo da energia elétrica, promovido em grande parte pelo consumo do motor do ventilador centrífugo e, também, do aumento do fator de demanda, com respeito ao aumento da capacidade de produção, o custo total da operação diminuiu. Tal fato ocorreu devido à diminuição dos custos de manutenção e depreciação, os quais foram baseados em investimentos iniciais relativamente menores na medida em que aumen -

Quadro 28. Resultados do dimensionamento e do custo* dos equipamentos envolvidos na secagem e armazenamento de 6, 12 e 18 toneladas de sementes de soja em silo com bomba de calor.

Custo em Cr\$ 1,000,00														
capaci- dade no início da operação (ton.)	silo			ventilador				bomba de calor						custo total
	altura	diâmetro	custo	vazão	pressão	potência	custo	unidade		evaporador/for		custo		
	(m)	(m)		de ar	estática	do motor		condensadora**		çador (HP)-				
								capacida de calo- rífica (Kcal/h)	motor do compres- sor (HP)	área de troca de ca- lor(m²)	motor do forçador (HP)			
6	1,54	2,57	30	36	29,7	0,5	10	1900	1,5	10	0,05	130	170	
12	1,94	3,23	50	72	52,2	1,5	15	3800	3,0	20	0,10	200	265	
18	2,22	3,70	70	108	72,5	3,0	20	6300	5,0	30	0,20	260	350	

* preços obtidos entre os meses de abril e maio de 1980, inclusos acessórios, impostos, fretes e instalação,

** resfriada a ar, sob idênticas condições de operação, ou seja, temperatura de evaporação de + 5°C e temperatura de condensação de + 35°C.

Quadro 29. Consumo de energia elétrica dos motores envolvidos nos processos de secagem e armazenamento de 6,12 e 18 toneladas de sementes de soja com bomba de calor

(Kwh/tonelada de produto seco a 12% de umidade)					
capacidade no início da operação - ção (ton)	secagem		armazenamento		total
	ventilador	bomba de calor	ventilador	bomba de calor	
6	25,4	88,7	127,2	443,4	684,7
12	38,1	88,7	190,5	443,4	760,7
18	50,8	96,1	254,3	480,6	881,8

Quadro 30. Custo anual dos processos da secagem e armazenamento de 6, 12 e 18 toneladas de sementes de soja com bomba de calor

(Cr\$/tonelada de produto seco a 12% de umidade)								
capacidade de no início da operação (tôn)	investimen to inicial (Cr\$ 1.000,)	manuten ção	energia elétrica		depreciação		total	
			consu mo	deman da	10 anos	15 anos	dep. em 10 anos	dep. em 15 anos
6	170	912	320	539	3.041	2.027	4.812	3.798
12	265	711	357	599	2.370	1.579	4.037	3.246
18	350	626	412	694	2.086	1.391	3.818	3.123

tou a capacidade de produção.

Os preços do grão de soja com finalidades industriais e da semente de soja, obtidos entre abril e maio de 1980, situaram-se, respectivamente, em Cr\$ 8.670,00 e Cr\$ 16.270,00/tonelada. Assim, a diferença em favor da semente de soja situa-se em Cr\$ 7.600,00/tonelada.

Os resultados da soma das recuperações de capital anuais, com base na vida útil dos equipamentos de 10 e 15 anos e taxas de investimento médias (juros + correção monetária) durante os anos de vida dos equipamentos de 0,3, 0,4 e 0,5 são indicados na Figura 35.

Assim, sob as suposições feitas e de acordo com as condições de operação que originaram os resultados da Figura 35 observa-se que, do ponto de vista econômico, a taxas de investimento de 50%a.a. somente é válido investir na aquisição dos equipamentos para capacidades de produção acima de 12 toneladas de sementes de soja, inicialmente a 18% de umidade, quando a vida útil dos equipamentos for igual ou superior a 15 anos. A taxas de 40% a.a. economicamente é válido investir no processo somente quando a capacidade de produção for superior a 10 toneladas de soja, e quando a vida útil dos equipamentos for igual ou superior a 10 anos; quando a vida útil dos equipamentos for igual ou superior a 15 anos, o investimento torna-se vantajoso em qualquer uma das capacidades de produção estudadas. A taxas de investimento anuais de 30% o processo se torna economicamente viável dentro de qualquer uma das situações estudadas. Os resultados referentes ao ponto de equilíbrio do investimento em cada uma destas situações assim como as relações obtidas nos cálculos do valor atual/capital investido são mostrados no Quadro 31.

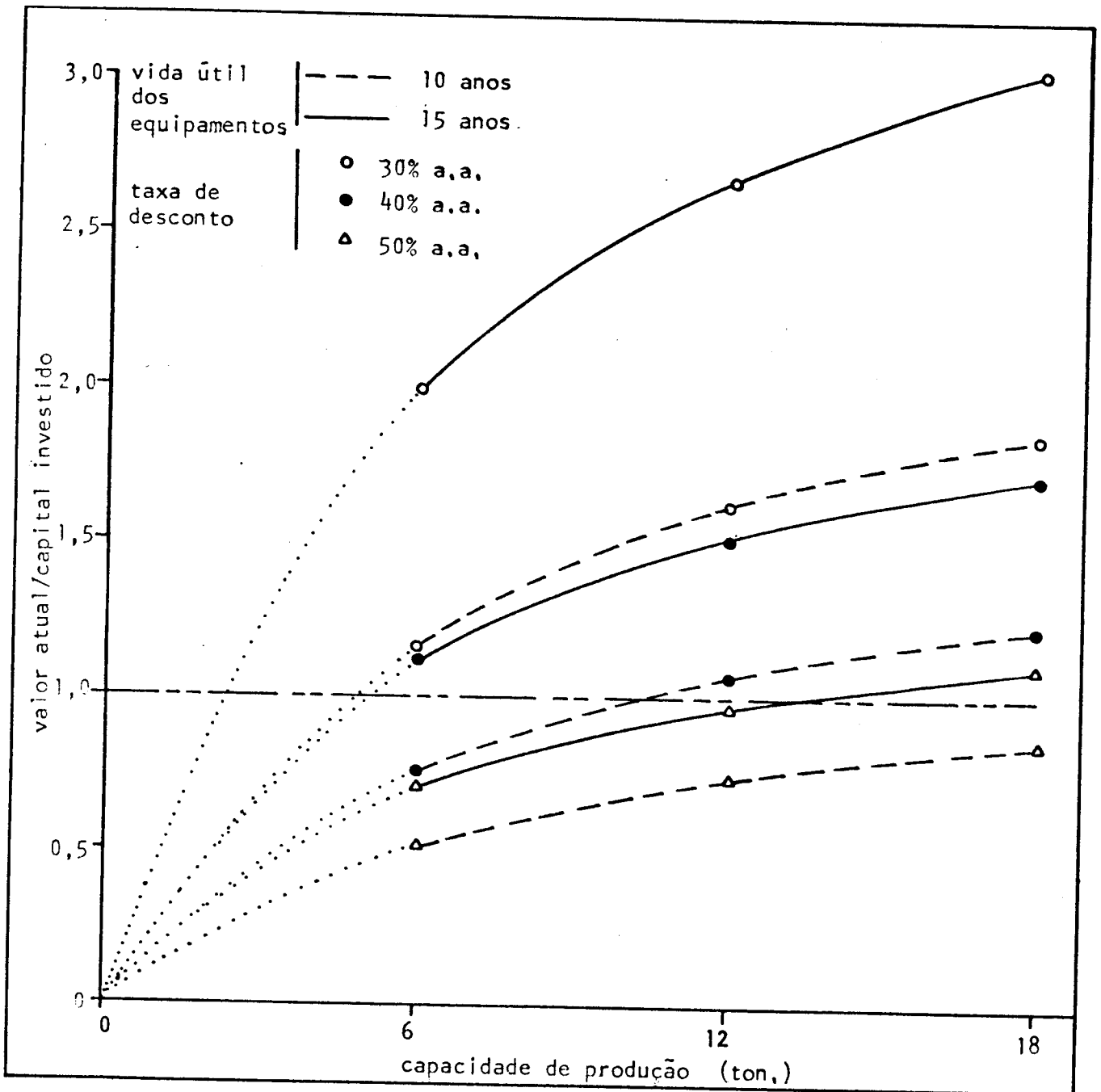


Figura 35. Valor atual/capital investido em relação à capacidade de produção, taxas de desconto e vida útil dos equipamentos na secagem e armazenamento de sementes de soja com bomba de calor.

Quadro 31. Valor atual/capital investido e ponto de equilíbrio do processo de secagem e armazenamento de sementes de soja em silo com bomba de calor

capacidade no início da operação (ton)	valor atual/capital investido						ano de recuperação do capital investido*					
	10 anos			15 anos			10 anos			15 anos		
	a**	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
6	1,16	0,76	0,53	1,99	1,12	0,71	99	-	-	89	139	-
12	1,62	1,07	0,75	2,67	1,51	0,97	79	99	-	69	99	-
18	1,85	1,23	0,87	3,03	1,72	1,11	69	89	-	69	79	129

* refere-se ao final do período de operação do ano em questão.

** a = taxa de investimento de 30% a.a.;
 b = taxa de investimento de 40% a.a.;
 c = taxa de investimento de 50% a.a.

VI - CONCLUSÕES

6.1 - A utilização de uma unidade condensadora onde o motor do compressor operou com eficiência global de compressão entre 21,1 e 47,9% comprometeu sensivelmente os coeficientes reais de "performance", cujos valores variaram dentro das faixas de 0,70 a 1,74 para o de resfriamento e 1,54 a 2,56 para o de aquecimento.

6.2 - 52,6% do consumo de energia elétrica promovido pelo motor de um ventilador centrífugo de 2CV, superdimensionado, foi utilizado para aquecer 2,8°C a temperatura do ar ambiente, o qual estava sendo empregado na secagem de sementes de soja, à razão de 15m³/min.

6.3 - A passagem do ar ambiente pelo evaporador da bomba de calor, sofrendo neste uma diminuição de temperatura e condensação de parte de seu vapor de água, e o parcial aquecimento do ar ocasionado pelo ventilador centrífugo, criaram condições tais que houve uma diminuição do teor de umidade das sementes de soja armazenadas 17 meses em silo metálico, desde um valor inicial de 10,6% até um valor final de 9,6%. A diminuição do teor de umidade associada à diminuição da temperatura das sementes fizeram com que estas apresentassem, ao final do período de armazenamento, qualidade fisiológica bem superior à das sementes armazenadas em silo com aeração por meio de ar ambiente e à das sementes armazenadas em sacas.

6.4 - O teste padrão de germinação não foi suficiente para detectar, mesmo após 6 meses do início do experimento, as diferenças já existentes na qualidade fisiológica das sementes de soja mantidas nos três sistemas de armazenamento empregados. O mesmo teste ainda não foi suficiente para detectar, mesmo após 10 meses de armazenamento, as diferenças na qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas no sistema com aeração noturna por meio de ar resfriado e no sistema em sacas. Os testes de vigor empregados, entretanto, foram mais incisivos, chegando ao ponto de, ao 10º mês de armazenamento, as sementes mantidas resfriadas pelo equipamento frigorífico apresentarem 84% de vigor, enquanto que as mantidas aeradas por meio de ar ambiente e mantidas nas sacas apresentarem somente 8 e 33%, respectivamente. Tal fato evidencia, mais uma vez, a necessidade da inclusão de testes de vigor na legislação atual a respeito da qualificação de sementes fisiologicamente sadias.

6.5 - É economicamente viável secar e armazenar sementes de soja com bomba de calor, sob as condições climáticas da região de Campinas-SP, no sentido de se obter um produto de qualidade superior, de valor comercial aproximadamente 2 vezes maior que o dos graus destinados ao processamento industrial nas seguintes situações:

- a) qualquer capacidade de produção acima de 6 ton., quando a taxa de investimento (juros + correção monetária) for de 30% ao ano e vida útil dos equipamentos igual ou superior a 10 anos;
- b) qualquer capacidade de produção acima de 12 ton., quando a taxa de investimento for de 40% ao ano e vida útil dos equipamentos igual ou superior a 10 anos;

- c) qualquer capacidade de produção acima de 12 ton., quando a taxa de investimento for de 50% ao ano e vida útil dos equipamentos igual ou superior a 15 anos.

VII - RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- a) Dar mais ênfase nas pesquisas sobre vigor de sementes, procurando encontrar uma metodologia rápida e simples de modo a facilitar sua inclusão na legislação atual.
- b) Considerar o calor que está sendo gerado pela respiração das sementes e a transferência de calor através das paredes do silo e internamente à massa dos grãos, no sentido de se estimar a real necessidade de resfriamento durante a fase do armazenamento, com o objetivo de se otimizar o tempo de operação dos equipamentos.
- c) Durante a fase da secagem, considerar um sistema em que o ar ambiente passe primeiramente pelo evaporador da bomba de calor, no sentido de que deixe grande parte de seu vapor de água na forma de condensado, e em seguida fazê-lo passar através do condensador, no sentido de que tenha sua temperatura novamente aumentada. Tal técnica teria a finalidade de, além de criar as condições necessárias à secagem, submeter as sementes a temperaturas ainda inferiores, e portanto menos prejudiciais a sua qualidade fisiológica, àquelas normalmente resultantes de processos convencionais onde se emprega somente o aquecimento como uma forma de

acondicionar o ar de secagem. Além disso, estando o ar. à entrada do condensador com temperatura reduzida iria diminuir a temperatura de condensação do refrigerante, com a consequente diminuição do consumo de energia do motor do compressor.

BIBLIOGRAFIA

1. ALTSCHUL, A.M. - Food: proteins for humans. Chemical & Engineering News 47(49): 68-81, 1969.
2. ANDALES, S.C. - Refrigerated air drying of grain in storage. Philippine Agriculturist 56(9/10): 309-323, 1973.
3. ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS - Rules for testing seeds. Journal of Seed Technology 3 (3): 1-126, 1978.
4. BAKER, K.F. - Seed pathology. In: KOZLOWSKI, T.T. (ed.) - Seed biology. New York, Academic Press, 1972 v. 2, p. 318-416.
5. BAUDET, L.; POPINIGIS, F. & PESKE, S. - Danificações mecânicas em sementes de soja (Glycine max L. Merrill) transportadas por um sistema elevador-secador. Revista Brasileira de Armazenamento 4: 29-38, 1978.
6. BOSWELL, F.C. & WORTHINGTON, R.E. - Boron and manganese effects on protein, oil, and fatty acid. Composition of oil in soybeans. J. Agric. Food Chem. 19 (4): 765-768, 1971.
7. BRASIL. BANCO DO BRASIL. CACEX. DIESN. NUSAN. - Brasil-exportação - 1978. Brasília, BB, 1979. p. 37-48.
8. BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. PLANASEM. EPV. ETESEM. - Legislação sobre sementes. Brasília, MA, 1968. 53. p.
9. BRASIL. MINISTÉRIO DO INTERIOR. GEIDA. - Contribuição ao desenvolvimento da agroindústria - Soja. Campinas, FCTPTA, 1974.

v. 10, 173 p.

10. BRASIL. SEPLAN. IBGE. - Anuário Estatístico do Brasil. Rio de Janeiro, IBGE, 1973-1978.
11. BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W. & HALL, C.W. Drying Cereal Grains. Westport, Connecticut, The AVI Publishing, 1974. 265 p.
12. CARLSON, J.B. - Morphology. In: SMITH, A. K. & CIRCLE, S. J. - Soybeans: chemistry and technology. Westport, Connecticut, The AVI Publishing, 1972. v. 1.
13. CHRISTENSEN, C.M. - Microflora and seed deterioration. In: ROBERTS, E.H. (ed.) - Viability of seeds. London, Chapman and Hall, 1972. p. 59-93.
14. CHRISTENSEN, C.M. & KAUFMANN, H.H. - Biological processes in stored soybeans. In: SMITH, A. K. & CIRCLE, S.J. ed. - Soybeans: chemistry and technology. Westport. Connecticut, The AVI Publishing, 1972. v.1, p. 278-293.
15. COPPOCK, J. - Soy proteins in foods-Retrospect and prospect. J. Am. Oil Chemists' Soc. 51(1): 59A-62A, 1974.
16. COSTA, A.V. - Retardamento da colheita após a maturação e seu efeito sobre a qualidade da semente e emergência de plântulas em 18 cultivares e linhagens de soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISAS DE SOJA, 1ª - Anais do ... 2: 293-308, 1979.
17. DELOUCHE, J.C. Maintaining soybean seed quality. In: Soybean production, marketing and use. Bulletin 4-69. Tennessee Valley Authority. Muscle Shoals, Alabama, 1974. p. 46-61.
18. DELOUCHE, J.C. & BASKIN, C.C. - Accelerated aging technics for predicting the relative storability of seed lots. Seed Sci. e Technol. 1: 427-452, 1973.
19. DONAHAYE, E.; NAVARRO, S. & CALDERON, M. - Studies on aeration

- with refrigerated air - III. Chilling of wheat with a modified chilling unit. J. Stored Prod. Res. 10: 1-8, 1974.
20. DORWORTH, C.E. & CHRISTENSEN, C.M. - Influence of moisture content, temperature and storage time upon changes in fungus flora, germinability, and fat acidit values of soybeans. Phytopathology 58(2): 1457-1459, 1968.
 21. ELLIS, M.A. & SINCLAIR, J.B. - Effect of benomyl fied sprays on internally borne fungi, germination, and emergence of late - harvested soybean seeds. Phytopathology 66(5): 680 - 682, 1976.
 22. FISCUS, D.E.; FOSTER, G.H. & KAUFMANN, H.H. - Physical damage of grain caused by various handling techniques. Transactions of the ASAE 14(3): 480-485, 491, 1971.
 23. FLIKKE, A.M.; CLOUD, H.A. & HUSTRULID, A. - Grain drying by heat pump. Agricultural Engineering 38(8): 592-597, 1957.
 24. FREISTRITZER, W.P. ed. - Cereal Seed Technology. Rome, FAO, 1975. 238 p.
 25. GOMES, R.P. - A soja. 2ª ed. São Paulo, Nobel, 1976. 149 p.
 26. GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. SECRETARIA DA AGRICULTURA.CATI. - Normas para análise de sementes. Campinas, CATI, 1975. p. 8-15.
 27. GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. SECRETARIA DA AGRICULTURA.CATI. - Padrões de sementes para 1978. Campinas, CATI, 1978.
 28. GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. SECRETARIA DA AGRICULTURA.CATI. - Descrição de variedades de soja: Glycine max(L.) Merrill. Cam pinas, CATI, 1979. 11 p.
 29. GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. SECRETARIA DA AGRICULTURA. IEA- Prognóstico 77/78. São Paulo, IEA, 1977. p. 182-189.
 30. GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. SECRETARIA DA AGRICULTURA. IEA - Prognóstico 78/79. São Paulo, IEA, 1978. p. 97-103.

31. GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. SECRETARIA DA AGRICULTURA. IEA
Prognóstico 79/80. São Paulo, IEA, 1979. p. 94-101.
32. GRABE, D.F. - Storage of soybeans for seed. Soybean Digest
26(1): 14-16, 1965.
33. GREEN, D.F.; CAVANAH, L.E.; PINNELL, E.L. - Effect of seed
moisture content, field weathering, and combine cylinder
speed on soybean seed quality. Crop Science 6(1): 7-10,
1966.
34. HALL, C.W. - Drying farm crops. 6th printing, Ann Arbor,
Michigan, Edwards Brothers, 1957, 336 p.
35. HALL, G.E. - Damage during handling of shelled corn and soybeans.
Transactions of the ASAE 17(2): 335-338, 1974.
36. HARRINGTON, J.F. - Practical instructions and advice on seed
storage. Proc. Int. Seed Test. Ass. 28(4): 989-994, 1963.
37. HARRINGTON, J.F. - Seed storage and longevity. In: KOZLOWSKI,
T.T. ed. - Seed biology. New York, Academic Press, 1972.
v. 2., p. 145-245.
38. HESS, G.; MARQUES, J.L.M.; PAES, L.C.M.R. & PUCCINI, A.L. - En-
genharia Econômica. 9ª ed. São Paulo, DIFEL, 1977. 100 p.
39. HEYDECKER, W. - Vigour. In: ROBERTS, E.H. - Viability of
seeds. London, Chapman and Hall, 1972. p. 209-252.
40. HOGAN, M.R.; OKOS, M.R.; WILLIAMS, E.E.; AYERS, D.L. & PEART,
R.M. - Low temperature heat pump grain dryer design, perfor-
mance and operational experience. For presentation at the
1976 Winter Meeting American Society of Agricultural Engineers.
Palmer House, Chicago, Illinois, december 1976. paper nº
76-3519, 26 p.
41. HOGAN, M.R.; MULLER, R.E.; FOSTER, G.H. & AYERS, D.L. - Development
and testing of a heat pump grain dryer. For presentation
at the 1979 Winter Meeting American Society of Agricultural

- Engineers. Hyatt Regency Hotel, New Orleans, LA, december 1979. paper n^o 79-3527. 54 p.
42. HOVE, E.L. & HILL, G.D. - Composition, protein quality, and toxins of seeds of the grain legumes Glycine max, Lupinus spp., Phaseolus spp., Pisum sativum, and Vicia faba. New Zealand Journal of Agricultural Research 21(3): 457-462, 1978.
 43. HOVE, R.W. - Loss of viability of seed in storage attributable to infestations of insects and mites. Seed Sci & Technol. 1: 563-586, 1973.
 44. HYMOVITZ, T. & COLLINS, F.I. - Variability of sugar content in seed of Glycine max (L.) Merrill and G. soja Sieb. and Zucc. Agronomy Journal. 66(2): 239-240, 1974.
 45. JOHNSON, H.K. - Cooling stored grain by aeration. Agricultural Engineering 38(4): 238-241, 244-246, 1957.
 46. KALBASI-ASHTARI, A.; BERN, C.J. & KLINE, G.L. - Effect of internal and external damage on deterioration rate of shelled corn. For presentation at the 1979 Summer Meeting of ASAE and CSAE. University of Manitoba, Winnipeg, Canada, June 1979. paper n^o 79-3038, 37 p.
 47. KELLOR, R.L. - Defatted soy flour and grits. J. Am. Oil Chemists' Soc. 51: 77A-80A, 1974.
 48. KENNEDY, B. W. - Moisture content, mold invasion, and seed viability of stored soybeans. Phytopathology 54: 771-774, 1964.
 49. KHAN, A.A. & TAO, K.L. - Protects seeds from deterioration. New York's Food and Life Sciences 6(3): 3-5, 1973.
 50. KNOWLES, P.F. - Morphology and development of the soybean plant. In: BEARD, B.H. & KNOWLES, P.F. ed. - Soybean research in California. University of California, Division of Agricul

- tural Sciences, 1973. Bulletin 862, p. 7-10.
51. LABBÊ, L.M.B. - Efeitos de um sistema elevador de caçambas acoplado e secador sobre a qualidade da semente de soja (Glycine max L. Merrill). In: EMBRAPA. DEPARTAMENTO DE INFORMAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO - Soja-resumos e informativos. Brasília , EMBRAPA, 1978. v. 2, p. 159-160.
 52. LEONE, G.S.G. - Custos- um enfoque administrativo. Rio de Janeiro, Fundação Getúlio Vargas, 1974. 2ª ed., 576 p.
 53. MAN, J.M. de; STANLEY, D.W. & RASPER, V. - Composition of Ontário soybeans and soymilk. J. Inst. Can. Sci. Technol. Aliment. 8(1): 1, 8, 1975.
 54. MCKAY, D. - The measurement of viability seeds. London, Chapman and Hall, 1971. p. 172-208.
 55. MCKENZIE, B.A. - Drying soybean with heated and unheated air. Publication AE-84. Cooperative Extension Service, Purdue University, Lafayette, Indiana, 1972. 10 p.
 56. MILNER, M. & GEDDES, W.F. - Grain storage studies. I. Influence of localized heating of soybeans on interseed air movements. Cereal Chemistry 22(6): 477-483, 1945.
 57. MILNER, M. & GEDDES, W. F. - Grain storage studies. II. The effect of aeration, temperature, and time on the respiration of soybeans cointaining excessive moisture. Cereal Chemistry 22(6): 484-501, 1945.
 58. MILNER, M. & GEDDES, W.F. - Grain storage studies. III. The relation between moisture content, mold growth, and respiration of soybeans. Cereal Chemistry 23(3): 225-247, 1946.
 59. MILNER, M. & THOMPSON, J.B. - Physical and chemical consequences of advanced spontaneous heating in stored soybeans. J. of Agricultural and Food Chemistry, 2(6): 303-309, 1954.

60. MIRANDA, M.A.C.; MIYASAKA, S.; MASCARENHAS, H.A.A. & ROSSETTO, D. - Melhoramento da soja no estado de São Paulo. In: FUNDAÇÃO CARGILL - A soja no Brasil Central. Campinas, Fundação Cargill, 1977. p. 23-54.
61. MIYASAKA, S. - Generalidades. In: FUNDAÇÃO CARGILL. - A soja no Brasil Central. Campinas, Fundação Cargill, 1977. p. 1-21.
62. MONDRAGON, R.L. & POTTS, H. - Field deterioration of soybeans as affected by environment. Proc. Association of Official Seed Analysts 64: 63-71, 1974
63. MOORE, R.P. - Effects of mechanical injuries on viability. In: ROBERTS, E.H. ed. - Viability of seeds. London, Chapman and Hall, 1972. p. 94-113.
64. MORRISON, D.W. & SHOVE, G.C. - Solar energy-heat pump low temperature grain drying. For presentation at the 1977 Winter Meeting American Society of Agricultural Engineers. Palmer House Hotel, Chicago, Illinois, december 1977. paper nº 77-3546, 8 p.
65. NAVARRO, S.; DONAHAYE, E. & CALDERON, M. - Studies on aeration with refrigerated air - I. Chilling of wheat in a concrete elevator. J. Stored Prod. Res. 9: 253-259, 1973.
66. NAVARRO, S.; DONAHAYE, E. & CALDERON, M. - Studies on aeration with refrigerated air - II. Chilling of soybeans undergoing spontaneous heating. J. Stored Prod. Res. 9: 261-268, 1973.
67. NELLIST, M.E. & HUGHES, M. - Physical and biological processes in the drying of seed. Seed Sci. & Technol. 1: 613-643, 1973.
68. NOGUEIRA Jr., S. - Potencialidade da soja brasileira. Informações Econômicas 9(8): 19-24, 1979.

69. NOYES, R.T. - Aeration for safe grain storage. Publication AE-71, Cooperative Extension Service, Purdue University, Lafayette, Indiana, 1967. 11 p.
70. NUTILE, G.E. - Effect of desiccation on viability of seeds. Crop Science 4(3): 325-328, 1964.
71. OBARA, T. & WATANABE, Y. - Heterogeneity of soybean trypsin inhibitors. II. Heat inactivation. Cereal Chemistry 48(5): 523-528, 1971.
72. OVCHAROV, K.E. - Physiological basis of seed germination. New Delhi, American Publishing, 1977. 315 p.
73. OVERHULTS, D.G.; WHITE, G.M.; HAMILTON, H.E. & ROSS, I.J. - Drying soybeans with heated air. Transactions of the ASAE. p. 112-113, 1973.
74. PERSON, Jr., N.K.; JASKA, E.H. & NEWMAN, J. S. - Peanut drying with heat pump systems. For presentation at the 1977 Winter Meeting American Society of Agricultural Engineers. Palmer House Hotel, Chicago, Illinois, december 1977. paper n° 77-3536, 33p.
75. POLLOCK, B.M. & ROOS, E.E. - Seed and seedling vigor. In: KOZLOWSKI, T.T. ed. - Seed biology. London, Academic Press, 1972. v. 1, p. 313-387.
76. POPINIGIS, F. - Fisiologia de sementes. Brasília, AGIPLAN , 1974. 78 p.
77. POPINIGIS, F. - Qualidade fisiológica de sementes. Sementes 1(1): 65-80, 1975.
78. ROBERTS, E.H. - The viability of cereal seed in relation to temperature and moisture. Annals of Botany 24(93): 12-31, 1960.
79. ROBERTS, E.H. - Storage environment and the control of viability. In: ROBERTS, E.H. ed. - Viability of seeds. London, Chapman and Hall, 1972. p. 14-58.

80. ROBERTS, E.H. - Cytological, genetical, and metabolic changes associated with loss of viability. In: ROBERTS, E.H. ed. Viability of seeds. London, Chapman and Hall, 1972. p. 253-306.
81. ROBERTS, E.H. - Predicting the storage life of seeds. Seed Sci. & Technology 1: 499-514, 1973.
82. ROBERTS, E.H. - Loss of viability: Ultrastructural and physiological aspects. Seed Sci & Technology 1: 529-545, 1973.
83. ROCHA, M.B. - Incrementos nos estoques mundiais de soja em 1978/1979. Informações Econômicas nº 4: 23-28, 1979.
84. ROJANASAROJ, C; WHITE, G.M.; LOEWER, O.J. & ENGLI, D.B. - Influence of heated air drying on soybean impact damage. Transactions of the ASAE 19(2): 372-377, 1976.
85. ROSSI, S.J. & ROA, G. - Pesquisas sobre secagem e armazenamento de matérias primas alimentícias por meio de ar natural e energia solar - UNICAMP, 1975/1979. São Paulo, ACIESP (no prelo).
86. SARTORI, M.R.; D'AMICO, C.R.; COSTA, S.I. da; LEITÃO, M.F.F.; JORDÃO, B.A. & ORTOLANI, D.B. - Preservação de soja armazenada a granel, mediante emprego de aeração mecânica para melhoria das condições de armazenamento. Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos nº 47: 75-110, 1976.
87. SCOTT, W.O. & ALDRICH, S.R. - Modern soybean production. Champaign, Illinois, S&A Publication, 1970. 192 p.
88. SEDIYAMA, C.S.; VIEIRA C.; SEDIYAMA, T; CARDOSO, A.A. & ESTEVÃO, M.M. - Influência do retardamento da colheita sobre a deiscência das vagens e sobre a qualidade e poder germinativo das sementes da soja. Experientiae 14(5): 117-141, 1972.

89. SGARBIERI, V.C.; GARRUTI, R.; MORAES, M.A.C. & HARTMAN, L. - Nutritional and sensory evaluation of mixtures of soybean (Glycine max L.) and common bean (Phaseolus vulgaris L.) for direct use as human food. Journal of Food Science 43(1): 208-210, 1978.
90. SILVA, R.B. - Manual de Termodinâmica - Transmissão de calor. São Paulo, EPUSP, 1972, 4ª ed.
91. STANWAY, V. - Evaluation of "Forrest" soybeans with damaged seed coats and cotyledons. Journal of Seed Technology 3(1): 19-26, 1978.
92. STEELE, J.L.; SAUL, R.A. & HUKILL, W.V. - Deterioration of shelled corn as measured by carbon dioxide production. Transactions of the ASAE 12 (5): 685-689, 1969.
93. STEPHENSON, K.Q. - Seed storage for tropical climates. For presentation at the 1978 Winter Meeting American Society of Agricultural Engineers. Palmer House Hotel, Chicago, Illinois, december 1978. paper nº 78-4519, 10p.
94. STOECKER, W.F. - Refrigeration and air conditioning. London, McGraw Hill, 1971. p. 224-234.
95. TAYLOR, R.W.D. - The storage of seeds. Tropical Stored Products Information nº 30: 23-33, 1975.
96. TENNE, F.D.; RAVALO, E.J.; SINCLAIR, J.B. & RODDA, E.D. - Changes in viability and microflora of soybean seeds stored under various conditions in Puerto Rico. Journal of Agriculture of University of Puerto Rico 62(3): 255-263, 1978.
97. TERVET, I. W. - The influence of fungi on storage, on seed viability, and seedling vigor of soybeans. Phytopathology. 35: 3-15, 1945.

98. THOMPSON, T.L.; PEART, R.M. & FOSTER, G.H. - Mathematical simulation of corn drying - A new model. - Transactions of the ASAE 11: 582-586, 1968.
99. TOLEDO, F.F. de & MARCOS FILHO, J. - Manual das Sementes. Tecnologia da produção. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1977. 224 p.
100. USBERTI, R. - Determinação do potencial de armazenamento de lotes de sementes de soja (Glycine max (L.) Merrill) através de teste de envelhecimento precoce. Semente janeiro/1980 (no prelo).
101. VALENCIA, M., A & TETER, N.C. - Ensayo de aireacion nocturna de maiz en la sabana de Bogota. Revista ICA (separata) v. 6, 25 p., 1971.
102. VILLA, L.G. & ROA, G. - Secagem e armazenamento da soja industrial e sementes a granel. Campinas, Fundação Cargill, 1979. 64. p.
103. VILLA, L.G.; ROA, G. & MACEDO, I.C. - Minimum air-flow for drying soybean seeds in bins with ambient and solar heated air. For preantation at the 1978 Summer Meeting American Society of Agricultural Engineers. Utah State University, Logan, Utah, June 1978. paper nº 78-3017, 22 p.
104. VILLALOBOS, S., G. & VILLA, L.G. - Previsão da perda da qualidade fisiológica das sementes de soja durante a secagem e o armazenamento em silos. Revista Brasileira de Armazenamento nº 3: 4-9, 1978.
105. VILLIERS, T.A. & EDGCUMBE, D.J. - On the cause of seed deterioration in dry storage. Seed Sci & Technol 3(2):761-774, 1975.
106. WATSON, E.L. - Effect of heat treatment upon the germination of wheat. Can. J. Plant Sci 50(1): 107-114, 1970.

107. WELCH, G.B. - Efeito do dano mecânico na germinação do feijão soja. In: EMBRAPA. Departamento de Informação e Documentação. Soja-Resumos e informativos. Brasília, EMBRAPA, 1978. v. 2, p. 166.
108. WHITE, G.M.; LOEWER, O.J.; ROSS, I.J. & EGLI, D.B. - Storage characteristics of soybeans dried with heated air. Transactions of the ASAE 19(2): 306-310, 1976.
109. WILCOX, J.R.; LAVIOLETTE, F.A. & ATHOW, K.L. - Deterioration of soybean seed quality associated with delayed harvest. Plant Disease Reporter 58(2): 130-133, 1974.
110. WOODSTOCK, L.W. - Physiological and biochemical tests for seed vigor. Seed Sci. & Technol. 1: 127-157, 1973.

ANEXOS

<u>Nº</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
1.	Especificação dos equipamentos de trabalho, de medição e de controle envolvidos na instalação e operação da bomba de calor	159
2.	Temperatura e umidade relativa do ar ambiente, de 2 em 2 horas, durante a secagem natural	161
3.	Variação do teor de umidade das sementes durante a secagem com ar natural.....	164/165
4.	Temperatura e umidade relativa do ar ambiente durante a secagem complementada com a bomba de calor	166
5.	Temperatura do ar antes e após a passagem pelo condensador, após a passagem no ventilador centrífugo e nas 6 posições internas ao silo C durante a secagem complementada com a bomba de calor.....	168
6.	Variação do teor de umidade das sementes durante a secagem complementada com a bomba de calor ...	171
7.	Temperatura e umidade relativa (médias mensais) do ar ambiente e teor de umidade das sementes durante o armazenamento em sacas	172
8.	Temperatura média mensal das sementes de soja durante o armazenamento em sacas	173

<u>Nº</u>	<u>Títulos</u>	<u>Páginas</u>
9.	Temperatura e umidade relativa do ar ambiente próximo aos silos durante o período de armazenamento das sementes de soja	174
10.	Temperatura média mensal das sementes de soja durante o armazenamento nos silos A e B.	175
11.	Teor de umidade médio mensal das sementes de soja durante o armazenamento nos silos A e B	178

ANEXO 1. Especificação dos equipamentos de trabalho, de medição e de controle envolvidos na instalação e operação da bomba de calor.

- a) 1 (uma) unidade condensadora resfriada a ar, marca Rádio-Frigor, modelo UC-210-III, com as seguintes características para utilização com refrigerante R12:
- Temperatura de evaporação - $+5^{\circ}\text{C}$
 - Pressão de evaporação - $37,9 \text{ lb/pol}^2$
 - Capacidade calorífica - 1.900 Kcal/h
 - Motor do compressor - $1,5 \text{ HP}$, 220V , trifásico, marca Brasil
 - Diâmetro da polia do motor - 70 mm
 - RPM do compressor - 405
 - Deslocamento do compressor - $3,83 \text{ m}^3/\text{h}$ de R12, composta de :
 - condensador, marca Rádio-Frigor, modelo UC-210
 - compressor, marca Bitzer-Frigor, modelo III
 - garrafa de líquido, marca Rádio-Frigor
 - separador de óleo, marca Rádio-Frigor
 - válvula solenóide, marca Fligor, modelo VS7, 220V , 90°C
 - visor de líquido, marca Fligor
 - filtro secador, marca Fligor, modelo Triplex S.T.
 - pressostato diferencial de alta e baixa pressão, marca Danfoss, modelo KP15;
- b) 1 (um) evaporador/forçador, marca Mipal, modelo TA - 01, de 10 m^2 de área de troca de calor; contendo 1 motor, marca Brasil, $1/20 \text{ CV}$, monofásico, 220V , com um ventilador axial;
- c) 1 (uma) válvula de expansão termostática, com equilibrador de pressão, marca Fligor, modelo TMIX - 2,2, para R-12;
- d) quadro elétrico completo fornecido pela firma Rádio - Frigor S/A;
- e) linha de líquido - tubulação de cobre, $\varnothing 1/8''$
 linha de gás - tubulação de cobre, $\varnothing 1/4''$.

Anexo 1 (fl. 2)

f) equipamentos de controle e medição:

- relógio de tempo, marca Sermar, modelo 7.900, 220V, 24 h
- medidor de consumo de energia, marca Aprel, modelo M5A3v, monofásico, 220V, 15A
- manômetro de alta, marca Marsh, 0 até 500 lb/pol²
- manômetro de baixa, marca Marsh, 30 vac. até 150/ lb/pol².

ANEXO 2. Temperatura e umidade relativa do ar ambiente, de 2 em 2 horas, durante a secagem natural.

data	hora do dia	T(°C)	UR(%)	data	hora do dia	T(°C)	UR(%)
24/04/78	10:30	27,0	63,0	28/04/78	14:30	33,0	28,0
	12:30	29,0	54,0		16:30	28,5	34,0
	14:30	28,5	51,0		18:30	22,0	56,0
	16:30	25,5	56,0	29/04/78	11:00	30,5	30,0
	18:30	20,5	73,0		13:00	32,5	27,5
	20:30	19,0	75,0		15:00	31,5	25,0
25/04/78	22:30	18,0	77,0		17:00	25,5	50,0
	00:30	18,0	77,0		19:00	23,0	63,0
	02:30	17,5	77,5		21:00	21,5	67,0
	04:30	17,0	78,0		23:00	19,5	77,0
	06:30	16,5	78,5	30/04/78	01:00	18,0	83,0
	08:30	22,0	75,0		03:00	18,0	83,0
26/04/78	10:30	27,5	52,0		05:00	18,0	83,0
	12:30	31,0	38,0		07:00	18,0	83,0
	14:30	31,5	37,0		09:00	29,5	55,0
	16:30	27,5	50,0		11:00	31,0	49,0
	18:30	20,5	72,5	02/05/78	14:00	27,0	53,0
	20:30	18,5	75,0		16:00	27,0	56,0
27/04/78	22:30	17,5	77,0		18:00	23,0	64,0
	00:30	17,0	77,0		20:00	19,0	76,0
	02:30	16,5	77,5		22:00	18,0	76,0
	04:30	15,5	78,0		24:00	17,0	80,0
	06:30	16,0	78,0	03/05/78	02:00	16,0	81,0
	08:30	23,5	70,0		04:00	16,0	85,0
28/04/78	10:30	30,0	46,0		06:00	16,0	85,0
	12:30	33,5	33,0		08:00	18,0	85,0
	14:30	31,0	32,0		10:00	27,0	60,0
	16:30	28,5	33,5		12:00	32,0	47,0
	18:30	23,0	55,0		14:00	34,0	40,0
	20:30	20,5	71,5	04/05/78	16:00	34,0	39,0
29/04/78	22:30	19,0	71,5		18:00	27,0	47,0
	00:30	18,0	72,5		20:00	23,0	65,0
	02:30	16,5	73,0		22:00	21,0	73,0
	04:30	15,0	75,0		24:00	20,0	80,0
	06:30	14,5	76,0	05/05/78	02:00	19,0	82,0
	08:30	23,0	70,0		04:00	17,0	83,0
30/04/78	10:30	25,0	58,0		06:00	17,0	84,0
	12:30	34,5	32,0		08:00	23,0	65,5
	14:30	24,0	66,0		10:00	31,0	52,0
	16:30	20,0	75,0		12:00	34,0	40,0
	18:30	19,0	76,0		14:00	35,0	34,0
	20:30	18,5	76,5		16:00	33,0	35,0
01/05/78	02:30	17,5	77,0	02/05/78	18:00	27,0	50,0
	04:30	16,5	77,0		20:00	24,0	71,0
	06:30	17,0	76,0		22:00	22,0	75,0
	08:30	25,0	55,0		24:00	21,0	75,0
	10:30	30,5	39,0	03/05/78	02:00	20,0	75,0
	12:30	32,5	32,0		04:00	18,0	80,0

ANEXO 2. Temperatura e umidade relativa do ar ambiente, de 2 em 2
(fl. 2) horas, durante a secagem natural

data	hora do dia	T(°C)	UR(%)	data	hora do dia	T(°C)	UR(%)
05/05/78	06:00	17,0	83,0	11/05/78	18:00	27,0	44,0
	08:00	22,0	85,0		20:00	23,0	51,0
	10:00	31,0	55,0		22:00	20,0	61,0
	12:00	35,0	42,0		24:00	18,0	65,0
	14:00	34,0	39,0	12/05/78	02:00	16,0	68,0
	16:00	33,0	41,0		04:00	14,5	71,0
	18:00	27,0	57,0		06:00	13,5	73,0
	20:00	23,0	83,0		08:00	13,0	73,0
06/05/78	22:00	22,0	84,0		10:00	24,0	44,0
	24:00	21,0	85,0		12:00	28,5	36,0
	02:00	20,0	85,0		14:00	31,0	34,0
	04:00	20,0	87,0		16:00	32,0	34,0
	06:00	21,0	87,0		18:00	26,0	42,0
	08:00	26,0	73,0		20:00	21,0	53,0
	10:00	32,0	52,0		22:00	18,0	64,0
	12:00	34,0	41,0		24:00	16,0	67,0
07/05/78	14:00	33,0	38,0	13/05/78.	02:00	15,0	72,0
	16:00	26,0	51,0		04:00	13,0	73,0
	18:00	23,0	62,0		06:00	12,5	74,0
	20:00	21,0	73,0		08:00	13,0	74,0
	22:00	19,0	82,0		10:00	23,5	45,0
	24:00	19,0	86,0		12:00	29,0	36,0
	02:00	18,0	87,0		14:00	31,0	35,0
	04:00	19,0	88,0		16:00	31,5	34,0
08/05/78	12:00	32,0	53,0		18:00	27,0	40,0
	14:00	33,0	45,0	14/05/78	20:00	23,0	47,0
	16:00	34,0	43,0		22:00	21,0	56,0
	18:00	29,0	46,0		24:00	18,5	63,0
	20:00	25,0	58,0		02:00	16,0	68,0
	22:00	22,0	79,0		04:00	15,0	72,0
	24:00	20,0	86,0		06:00	15,0	72,0
	02:00	19,0	85,0		08:00	15,0	73,0
	04:00	19,0	86,0		10:00	25,0	43,0
09/05/78	06:00	17,0	89,0		12:00	31,0	34,0
	12:00	29,0	49,0	15/05/78	14:00	32,5	33,0
	14:00	31,0	45,0		16:00	32,0	34,5
	16:00	32,0	44,0		18:00	27,5	39,0
	18:00	24,0	61,0		20:00	23,0	50,0
	10:00	27,0	60,0		22:00	20,0	61,0
	12:00	31,0	40,0		24:00	19,0	66,0
	14:00	34,0	32,0		02:00	17,5	69,0
	16:00	29,0	37,0		04:00	17,0	70,0
11/05/78	18:00	23,0	60,0		06:00	16,5	73,0
	10:00	23,0	47,0		08:00	19,0	71,0
	12:00	29,0	37,0		10:00	28,0	48,0
	14:00	31,0	35,0		12:00	31,0	41,5
	16:00	33,0	34,0		14:00	34,0	37,0

Alguns períodos que não constam neste quadro referem-se

ANEXO 2.

(fl. 3)

aos períodos em que o higrôtermôgrafo permaneceu com o cilindro pa
rado, por falta de corda.

Não obstante, mesmo nestes períodos foi possível observar os valo
res máximos e mínimos da temperatura e umidade relativa do ar ambi
ente, uma vez que o sistema de movimentação dos braços indicadores
permaneciam em funcionamento normal.

Os valores máximos e mínimos diários de temperatura e umidade rela
tiva do ar ambiente constantes na Figura 25 foram retirados direta
mente das cartas do higrôtermôgrafo, não coincidindo, necessaria-
mente, com os valores máximos e mínimos diários observados neste
quadro. Os valores médios diários de temperatura e umidade rela
tiva do ar ambiente foram calculados com base nos valores apresen-
tados neste apêndice. Para os períodos em que o higrôtermôgrafo
permanecia parado, os valores médios foram calculados a partir da
média aritmética entre os valores máximos e mínimos observados pa-
ra o período em questão.

ANEXO 3. Variação do teor de umidade das sementes durante a secagem com ar natural

Silo A

início: 20/04/78 às 20:30 h

final: 15/05/78 às 13:30 h

tempo de secagem (horas)	(%)				
	Altura a partir da chapa perfurada				
	(m)				
	0,05	0,30	0,55	0,80	1,05
0	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5
39,0	13,9	15,5	15,5	15,2	14,9
45,5	12,7	15,1	15,3	15,0	15,1
60,0	13,7	15,2	15,5	15,1	14,8
69,0	12,8	15,1	15,2	15,4	15,0
86,0	13,1	15,0	15,1	14,9	14,9
92,5	11,9	14,7	15,2	15,0	14,7
109,0	12,4	14,1	14,7	14,7	14,6
116,5	11,3	14,5	15,1	14,9	14,7
133,5	11,8	13,3	14,7	14,4	14,5
140,5	10,6	13,3	15,0	15,0	14,9
158,0	10,6	12,4	14,6	14,5	14,4
164,5	9,5	12,5	15,0	15,1	15,0
182,0	10,5	11,5	14,7	14,7	14,6
188,0	9,9	11,6	15,0	15,1	14,7
205,5	10,2	11,0	14,4	14,6	14,5
121,5	9,0	10,7	14,2	14,6	14,7
223,0	9,3	10,5	13,9	14,7	14,5
234,0	9,4	10,5	13,3	14,9	14,8
250,0	10,7	10,2	12,6	14,7	14,5
259,5	9,9	10,2	12,8	14,9	14,6
275,0	10,5	10,1	11,8	14,4	14,3
285,0	9,0	10,2	11,7	14,4	14,5
301,5	10,3	10,2	11,2	13,8	14,2
308,5	9,6	10,3	11,4	14,2	14,7
326,0	9,4	10,1	11,0	13,7	14,1
332,5	9,3	10,2	11,1	13,5	14,8
350,0	9,7	9,8	10,7	12,7	14,0
357,0	8,9	9,8	10,7	12,7	14,6
372,5	10,1	9,7	10,5	12,4	14,5
381,0	9,1	9,7	10,3	12,0	14,4
398,0	9,9	9,6	10,1	11,2	13,2
422,0	9,5	9,2	9,9	10,8	12,7
428,5	9,1	9,6	9,9	10,8	12,6
446,5	10,0	9,4	9,7	10,5	12,0
452,5	9,1	9,6	9,8	10,4	12,2
470,5	10,2	9,6	9,7	10,2	11,6
476,5	9,1	9,6	9,8	10,3	11,4
494,0	10,0	9,4	9,6	10,0	11,0
500,5	9,4	9,6	9,7	10,1	11,1
524,5	9,2	9,6	9,6	10,0	10,7
590,0	9,6	9,6	9,6	9,9	10,3
593,0	9,2	9,7	9,8	9,9	10,4

ANEXO 3. Variação do teor de umidade das sementes durante a seca
gem com ar natural

Silo B

início: 20/04/78 às 19:00 h

final: 15/05/78 às 13:30 h

tempo de secagem (horas)	Altura a partir da chapa perfurada (m)				
	(%)				
	0,05	0,26	0,55	0,80	1,05
0	14,0	14,5	14,5	14,5	14,5
25,0	13,6	15,0	15,1	15,3	15,3
40,0	13,8	15,1	15,0	15,1	15,1
46,0	12,8	15,1	15,2	15,2	15,2
62,0	12,9	14,8	15,1	15,1	15,2
70,0	12,4	15,1	15,1	15,4	15,4
88,0	12,5	14,8	14,9	15,0	14,8
93,5	11,8	14,7	15,1	15,1	15,2
110,5	12,2	14,3	15,1	15,1	14,9
117,5	11,2	14,2	15,1	15,0	15,0
135,0	11,6	13,5	14,7	14,7	14,5
142,0	10,7	13,6	15,0	15,2	14,7
159,5	10,5	12,7	14,5	14,7	14,5
166,0	9,7	12,9	15,0	15,1	14,1
183,5	10,4	11,9	14,7	14,8	14,7
189,0	9,8	12,0	15,0	15,2	14,4
207,0	10,0	11,1	13,8	14,4	14,3
213,5	9,3	11,2	14,5	14,7	14,7
228,0	9,5	10,6	14,0	14,6	14,5
238,0	9,3	10,6	14,2	14,8	14,5
255,0	10,3	10,3	13,5	14,8	14,6
261,0	9,9	10,0	13,2	14,7	14,4
276,5	10,2	10,1	12,4	14,6	14,5
286,5	9,8	10,2	12,3	14,4	14,2
303,0	10,5	10,0	11,5	14,2	14,4
310,0	9,8	10,3	11,9	14,4	14,3
327,5	9,7	10,1	11,2	13,0	14,5
334,0	9,6	10,2	11,5	13,5	13,7
351,5	9,7	10,0	10,9	13,1	13,9
358,0	9,1	10,0	11,0	13,3	13,7
373,5	9,9	9,8	10,9	12,7	14,2
382,0	9,3	9,8	10,5	12,2	13,8
399,0	9,8	9,7	10,4	11,6	13,6
423,5	9,9	9,7	10,0	11,3	11,1
430,0	9,3	9,7	10,1	11,3	11,0
448,0	10,1	9,7	9,9	10,8	11,1
454,0	9,4	9,8	10,5	10,9	11,1
472,0	10,3	9,7	10,0	10,6	11,1
478,0	9,6	9,9	10,0	10,7	10,9
495,5	10,2	9,6	9,9	10,4	10,4
502,0	9,6	9,9	10,0	10,5	10,4
526,0	9,4	9,8	9,9	10,3	10,3
591,5	9,7	9,8	9,9	10,0	9,9
594,5	9,6	9,8	10,0	10,2	9,9

ANEXO 4. Temperatura e Umidade relativa do ar ambiente durante a secagem complementada com a bomba de calor.

data	hora do dia	T(°C)	UR(%)	data	hora do dia	T(°C)	UR(%)
23/04/79	12:00	22,0	63,0	25/04/79	13:00	27,0	53,0
	13:00	27,0	53,0		14:00	28,0	52,0
	14:00	29,0	53,0		15:00	27,0	54,0
	15:00	27,0	54,0		16:00	25,0	54,0
	16:00	25,0	54,0		17:00	23,5	60,0
	17:00	24,0	57,0		18:00	20,0	64,0
	18:00	21,0	63,0		19:00	18,0	67,0
	19:00	19,5	67,0		20:00	17,5	68,0
	20:00	19,0	69,0		21:00	17,0	69,0
	21:00	18,0	71,0		22:00	16,0	69,0
	22:00	18,0	72,0		23:00	15,0	71,0
	23:00	17,5	74,0	26/04/79	24:00	15,0	72,0
	24:00	17,0	74,0		01:00	14,5	73,0
24/04/79	01:00	17,0	74,0		02:00	14,0	73,0
	02:00	16,5	73,0		03:00	14,0	73,0
	03:00	17,0	74,0		04:00	14,0	74,0
	04:00	16,0	74,0		05:00	13,5	74,0
	05:00	15,5	74,0		06:00	13,0	75,0
	06:00	15,0	74,0		07:00	13,0	72,5
	07:00	15,0	73,0		08:00	16,0	68,0
	08:00	16,5	69,0		09:00	19,0	62,0
	09:00	20,0	62,0		10:00	21,5	58,0
	10:00	21,0	58,8		11:00	25,0	55,0
	11:00	24,0	55,0		12:00	28,0	52,0
	12:00	25,0	54,0		13:00	28,0	52,0
	13:00	27,0	51,0		14:00	30,0	51,0
	14:00	27,0	51,0		15:00	31,0	51,0
25/04/79	15:00	27,0	53,0		16:00	29,0	51,0
	16:00	24,5	53,0		17:00	26,0	56,0
	17:00	23,5	56,0		18:00	24,0	63,0
	18:00	21,0	62,0		19:00	20,5	58,5
	19:00	19,0	67,0		20:00	19,0	70,0
	20:00	18,0	68,0		21:00	17,5	72,5
	21:00	17,0	70,0		22:00	17,0	73,0
	22:00	16,0	72,0		23:00	16,5	74,0
	23:00	16,0	72,0		24:00	16,0	74,0
	24:00	15,5	73,0	27 04/79	01:00	16,0	74,0
	01:00	15,5	74,0		02:00	15,5	75,0
	02:00	14,5	75,0		03:00	15,0	75,0
	03:00	14,0	76,0		04:00	15,0	75,0
	04:00	14,0	76,0		05:00	15,0	75,0
	05:00	14,5	76,0		06:00	16,0	76,0
	06:00	15,0	75,0		07:00	14,5	75,0
	07:00	15,0	72,0		08:00	16,0	70,0
	08:00	17,0	67,0				
	09:00	19,5	62,0				
	10:00	21,0	59,0				
	11:00	23,0	56,0				
	12:00	24,5	55,0				

ANEXO 4.
(fl. 2)

período do dia	23-24/04/79		24-25/04/79		25-26/04/79		26-27/04/79		média por período	
	T(°C)	UR(%)	T(°C)	UR(%)	T(°C)	UR(%)	T(°C)	UR(%)	T(°C)	UR(%)
06:00-22:00	22,7	61,5	21,8	60,9	21,2	61,3	22,8	66,6	22,4	62,6
22:00-06:00	16,4	74,0	14,9	74,6	14,1	73,1	15,5	74,8	15,2	74,1

Média Geral	
19,6	66,8

para o cálculo da média geral considerou-se média ponderada, onde o período das 06:00 às 22:00 teve peso 2 e o período das 22:00 às 06:00 teve peso 1.

ANEXO 5. Temperatura do ar antes e após a passagem pelo condensador, após a passagem pelo ventilador centrífugo e nas 6 posições internas ao silo C durante a secagem complementada com a bomba de calor,

início = 23/04/79

às 11:30h

final = 27/04/79

às 07:30h

(°C)									
tempo de secagem (h)	antes do condensa- dor	após o conden- sador	após o venti- lador	altura a partir da chapa perfurada (m)					
				0,05	0,25	0,45	0,65	0,85	1,05
0	23,1	23,8	23,5	23,1	23,2	22,8	23,5	23,6	22,8
1	23,0	23,5	27,0	25,9	20,4	20,1	20,4	21,5	22,1
2	24,6	24,8	28,2	27,4	21,1	20,6	20,4	20,2	20,1
3	23,8	24,5	27,5	27,2	20,8	20,4	20,4	20,4	20,4
4	24,1	24,1	27,5	27,0	21,5	20,4	20,4	20,4	20,1
5	23,8	23,5	26,1	26,3	20,8	19,4	19,8	20,1	20,1
6	20,8	21,3	23,5	24,0	21,1	19,2	19,4	19,4	19,4
7	19,1	19,8	22,5	22,5	20,6	18,4	18,6	18,9	18,8
8	19,1	19,4	22,5	22,5	21,1	19,1	18,8	18,8	18,8
9	17,6	18,1	21,1	21,5	20,3	18,4	18,6	18,6	18,4
(L)* 10	18,3	18,6	21,7	21,7	21,1	18,4	19,4	19,6	19,4
11	18,8	25,5	27,4	26,6	21,8	19,9	19,6	19,4	19,3
12	18,6	25,1	26,8	26,7	23,7	21,7	21,5	21,3	20,8
13	18,1	24,8	26,7	26,5	21,1	21,5	21,5	21,5	21,4
14	17,8	24,9	26,6	26,3	24,1	21,5	21,3	21,4	21,3
15	18,4	25,0	26,8	26,8	24,5	21,6	21,0	21,0	21,0
16	17,4	23,8	26,0	25,9	24,5	21,5	21,0	21,1	21,0
17	16,8	23,2	25,1	25,2	24,0	21,1	20,4	20,6	20,6
(D)* 18	16,6	22,8	24,6	24,3	23,5	20,8	19,9	19,9	19,9
19	16,1	16,9	19,2	19,7	22,3	20,1	10,3	19,4	19,4
20	17,8	17,8	20,1	20,1	20,1	19,4	18,2	18,3	18,3
21	19,6	19,6	22,1	22,0	20,8	19,6	18,4	18,1	17,9
22	22,3	21,9	24,5	24,1	22,5	20,4	19,4	19,1	18,8
23	22,8	22,8	25,6	25,6	23,3	20,8	19,3	19,3	18,6
24	23,3	23,3	25,9	26,3	23,9	20,9	19,1	18,8	18,8
25	26,5	25,1	28,6	27,4	25,1	21,9	19,4	19,2	19,2
26	26,1	26,3	29,2	29,2	26,3	22,5	19,8	19,4	19,4
27	25,3	25,6	28,7	28,5	26,5	23,3	19,8	19,4	19,2
28	23,6	24,1	26,8	26,8	26,1	23,8	20,0	19,0	19,0
29	24,8	24,5	27,5	27,5	26,7	24,6	20,4	19,8	19,8
30	21,6	22,0	24,3	24,8	25,5	24,5	20,1	19,6	19,3
31	20,1	20,7	23,5	23,5	24,1	23,7	20,8	19,4	19,4
32	19,2	19,8	22,3	22,5	23,3	23,2	21,1	19,6	19,4
33	17,8	18,4	21,1	21,6	22,1	22,1	20,8	19,9	19,6
(L) 34	17,4	18,0	20,6	20,8	21,8	21,9	20,6	18,8	18,8
35	17,1	23,0	24,3	23,5	21,5	21,5	20,2	18,6	18,5
36	16,8	21,8	23,8	23,3	23,1	22,1	21,0	19,4	18,8
37	17,3	21,3	23,5	23,5	23,3	22,8	21,5	19,8	19,6
38	16,1	19,8	21,5	22,8	23,3	22,7	21,6	20,0	19,4

ANEXO 5.

(fl. 2)

	tempo de secagem (h)	antes do condensa- dor	após o conden- sador	após o venti- lador	(°C)					
					altura a partir da chapa perfurada (m)					
					0,05	0,25	0,45	0,65	0,85	1,05
	39	15,9	20,3	22,5	21,7	22,3	22,3	21,5	19,5	19,4
	40	15,8	21,1	22,1	21,8	21,5	21,3	20,8	19,0	18,8
	41	16,1	22,1	23,7	22,7	22,1	21,3	20,8	19,4	18,8
	42	16,1	22,1	23,6	22,8	22,1	21,7	20,8	19,2	18,6
(D)	43	16,1	16,8	19,6	19,9	22,5	21,9	21,3	19,8	19,1
	44	17,3	17,2	19,9	19,9	20,0	20,8	20,1	18,8	18,3
	45	18,8	18,9	21,8	21,5	20,6	20,2	20,0	18,4	17,6
	46	21,3	21,1	23,8	23,5	22,0	20,8	20,2	18,8	18,0
	47	21,9	22,1	24,9	24,8	23,1	21,7	20,9	19,8	18,8
	48	24,7	24,9	27,6	27,2	24,8	22,8	21,6	20,1	19,2
	49	25,5	25,5	28,8	28,5	25,9	23,7	22,3	20,5	19,6
	50	27,6	27,0	30,0	29,8	27,4	24,9	23,2	21,1	20,1
	51	25,8	25,3	28,6	28,5	27,0	25,5	23,0	21,3	19,9
	52	24,3	24,3	27,1	27,1	26,8	25,3	23,5	21,0	19,8
	53	24,3	20,5	26,4	27,0	26,1	25,3	23,7	21,2	19,9
	54	20,0	20,2	23,3	23,6	24,8	24,9	23,6	20,8	19,6
	55	18,8	19,3	22,0	22,0	22,8	23,3	23,1	21,0	19,1
	56	18,6	19,0	21,5	21,4	22,0	22,3	22,1	20,8	18,6
	57	17,7	18,1	20,8	20,9	21,7	21,9	21,8	20,8	18,6
	58	16,4	16,8	19,2	19,6	20,1	20,5	20,8	19,8	17,8
(L)	59	15,6	21,7	23,5	23,1	19,9	19,8	19,8	19,3	17,2
	60	15,1	21,5	23,3	23,0	22,5	21,0	20,0	19,4	17,4
	61	15,0	21,1	23,0	22,9	22,8	22,1	21,1	19,4	18,0
	62	14,6	21,1	22,8	22,4	22,1	22,0	21,5	20,4	18,8
	63	15,3	20,9	22,8	22,0	22,5	22,1	21,5	20,4	18,4
	64	14,7	20,6	22,7	21,9	22,0	22,2	21,6	20,4	18,8
	65	14,4	19,4	21,5	20,2	21,3	21,2	21,3	20,4	18,7
	66	14,1	17,7	19,9	20,6	20,4	20,6	20,7	20,1	18,5
(D)	67	13,7	14,4	17,0	17,4	19,8	20,1	20,0	19,6	18,1
	68	15,6	15,6	18,1	18,2	18,3	19,2	19,6	19,3	17,8
	69	17,4	17,4	20,1	20,0	19,4	19,1	19,4	19,1	17,9
	70	19,8	20,1	23,3	23,0	21,3	20,4	20,0	19,6	18,4
	71	23,5	23,5	26,1	25,9	23,6	22,1	21,3	20,6	19,4
	72	24,3	25,0	28,2	28,3	26,0	23,8	22,6	21,9	20,8
	73	27,5	26,8	21,0	20,8	27,8	25,8	24,1	22,8	21,7
	74	29,2	27,6	31,0	30,4	28,2	26,8	24,9	23,5	22,1
	75	28,8	27,8	31,5	31,2	29,1	27,0	25,5	23,6	22,1
	76	28,0	28,0	31,5	30,7	29,3	27,8	26,1	24,1	22,5
	77	27,0	26,5	29,5	29,7	29,5	27,8	26,5	24,5	22,8
	78	22,8	23,5	26,1	26,2	27,5	28,0	26,8	24,8	23,1
	79	20,9	21,5	23,7	24,3	25,6	26,5	26,5	22,1	23,5
	80	19,1	19,1	22,1	22,3	23,6	24,8	25,5	21,5	20,0
	81	17,9	18,2	20,8	21,3	22,1	23,5	24,1	24,0	23,0
	82	17,0	17,3	19,8	20,1	21,5	22,5	23,0	23,2	22,4
(L)	83	17,0	23,5	25,1	24,8	22,0	22,3	22,8	23,0	22,3
	84	16,8	23,6	24,7	24,7	24,3	23,1	22,8	22,8	22,1
	85	16,3	22,8	24,5	24,1	24,3	23,9	23,6	22,9	22,1
	86	16,2	22,8	24,3	24,1	24,5	24,1	24,1	23,5	22,7
	87	16,3	22,7	24,1	24,0	24,1	24,1	24,0	23,6	22,8
	88	15,6	21,9	23,8	23,6	23,3	23,3	23,5	23,3	22,4
	89	15,3	21,7	23,5	23,5	23,5	23,4	22,9	22,8	22,1

ANEXO 5.

(°C)

(fl. 3)

	tempo de secagem (h)	antes do condensa- dor	após o conden- sador	após o venti- lador	altura a partir da chapa perfurada (m)					
					0,05	0,25	0,45	0,65	0,85	1,05
	90	15,1	21,5	23,3	23,2	23,2	23,1	23,1	22,7	22,0
(D)	91	15,2	15,8	18,2	18,8	22,7	23,1	23,3	22,8	22,1
	92	16,4	16,1	18,9	18,9	19,6	20,8	22,1	22,0	21,6

*

(L) = início do funcionamento diário da bomba de calor.

(D) = término do funcionamento diário da bomba de calor.

ANEXO 6. Variação do teor de umidade das sementes durante a secagem complementada com a bomba de calor

(%)

tempo de secagem	data/horário	altura a partir da chapa perfurada (m)					
		0,05	0,25	0,45	0,65	0,85	1,05
0	23/04/78 - 11:30	21,2	21,2	21,0	21,2	21,3	21,0
4,5	" 16:00	-	21,0	21,4	21,2	21,3	21,2
5,5	" 17:00	16,5	-	-	-	-	-
11,0	" 22:30	15,3	17,4	20,7	20,6	20,7	20,3
20,5	24/04/78 - 08:00	13,5	14,5	19,1	20,2	20,6	20,1
30,5	" 18:00	11,6	12,3	15,4	19,6	21,0	20,3
43,5	25/04/78 - 07:00	11,3	11,8	13,4	15,3	19,3	20,0
54,5	" 18:00	10,7	11,2	12,3	13,7	17,5	21,1
68,0	26/04/78 - 07:30	10,3	10,6	11,3	12,0	13,5	18,8
78,7	" 18:15	9,8	10,1	10,8	11,5	13,0	14,4
91,7	27/04/78 - 07:15	9,8	10,0	10,4	10,8	11,6	12,3

ANEXO 7. Temperatura e umidade relativa do ar ambiente e teor de umidade das sementes durante o armazenamento em sacas (médias mensais).

período de armazenamento (meses)	Tmin (°C)	Tmáx (°C)	Tmédia (°C)	URmin (%)	URmax (%)	URmédia (%)	M (%)
0 - 1	20,5	24,5	22,5	56,6	75,0	65,8	10,0
1 - 2	18,6	25,0	21,8	56,7	82,1	69,4	10,0
2 - 3	20,8	27,0	23,9	59,7	81,9	70,8	10,2
3 - 4	19,4	26,8	23,1	45,2	73,6	59,4	10,4
4 - 5	20,5	26,7	23,6	49,3	76,3	62,8	10,1
5 - 6	22,4	28,6	25,5	51,2	80,2	65,7	10,2
6 - 7	21,4	28,0	24,7	60,0	83,7	71,9	10,4
7 - 8	23,5	29,3	26,4	54,1	80,7	67,4	10,6
8 - 9	22,3	26,1	24,2	62,1	75,4	68,8	10,5
9 - 10	23,6	27,6	25,6	62,3	75,5	68,9	11,2
10 - 11	22,1	26,5	24,3	60,4	76,1	68,3	11,5
11 - 12	20,2	25,5	22,9	57,0	77,1	67,1	11,3
12 - 13	19,4	23,1	21,3	63,9	78,3	71,1	11,2
13 - 14	15,5	20,5	18,0	64,4	75,7	70,1	10,9
14 - 15	13,7	19,6	16,7	55,5	73,2	64,4	10,2
15 - 16	20,0	23,9	22,0	54,1	68,1	61,1	10,7
16 - 17	18,1	23,4	20,5	53,1	72,3	62,5	10,7
média	20,2	25,4	22,8	56,8	76,8	66,8	10,6

ANEXO 8. Temperatura média mensal das sementes de soja durante o armazenamento em sacas.

mês ano	período de armazenamen to (meses)	T ₁ * (°C)	T ₂ (°C)	T ₃ (°C)	T ₄ (°C)	T ₅ (°C)	T ₆ (°C)	média (°C)
março/79	10-11	24,7	25,2	25,3	25,3	24,6	24,7	25,0
abril	11-12	23,4	22,7	22,2	22,1	22,5	23,5	22,7
maio	12-13	19,3	21,1	21,7	21,9	19,6	19,2	20,5
junho	13-14	19,4	19,6	20,0	19,9	19,4	19,2	19,6
julho	14,15	17,1	17,4	17,7	17,5	17,0	17,2	17,3
agosto	15-16	20,6	20,4	20,3	20,5	20,3	20,9	20,5
setembro	16-17	18-5	18-4	18-2	18,4	18,4	19,5	18,6
média	—	20,4	20,7	20,8	20,8	20,3	20,6	20,6

*T₁, T₂ ... T₆ referem-se à medida de temperatura em 6 sacos localizados em diferentes posições da pilha.

ANEXO 9. Temperatura e umidade relativa do ar ambiente próximo aos silos,
durante o período de armazenamento das sementes de soja

período de ar mazenamento (meses)	período do dia											
	06:00 - 22:00h						22:00 - 06:00h					
	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmédia (°C)	URmin (%)	URmax (%)	URmédia (%)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmédia (°C)	URmin (%)	URmax (%)	URmédia (%)
0 - 1	12,0	26,0	19,0	44,5	82,5	63,5	11,5	15,0	13,5	74,5	83,0	79,5
1 - 2	13,5	29,5	21,5	39,5	83,5	61,5	13,5	18,0	16,0	73,0	82,5	78,0
2 - 3	14,0	28,5	21,5	44,0	82,5	63,5	14,5	18,0	16,5	74,0	82,0	78,0
3 - 4	11,0	28,0	20,0	39,5	74,0	56,5	11,0	16,0	13,5	65,5	73,5	70,5
4 - 5	13,5	29,5	22,0	54,0	75,0	64,5	13,5	17,0	14,5	73,0	79,0	76,0
5 - 6	18,0	33,0	26,0	52,0	76,5	64,0	16,5	19,0	17,5	71,0	76,5	73,5
6 - 7	19,5	35,5	27,5	57,0	79,0	68,0	20,0	23,0	21,5	72,0	78,0	75,0
7 - 8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 - 9	21,0	33,5	27,0	56,5	75,0	66,0	21,0	23,5	22,0	72,0	75,0	74,0
9 - 10	21,0	35,5	28,5	54,0	75,0	64,5	21,0	23,5	22,5	72,0	75,5	74,5
10 - 11	19,0	35,0	27,0	55,0	76,5	66,0	19,0	22,0	20,5	72,5	77,0	75,0
11 - 12	16,5	31,5	24,0	53,5	76,0	64,5	17,0	19,5	18,5	72,0	76,5	74,5
12 - 13	14,0	27,0	20,5	57,5	76,5	67,0	14,5	18,0	16,5	71,0	75,5	73,5
13 - 14	12,5	28,5	20,5	54,5	76,5	65,5	13,0	17,5	15,0	70,5	76,5	73,5
14 - 15	14,5	32,5	23,5	53,5	77,0	66,5	14,0	18,5	16,5	70,5	77,5	74,5
15 - 16	17,0	27,0	21,5	62,0	76,5	70,0	17,0	19,5	18,0	73,5	77,0	75,5
16 - 17	17,0	29,5	23,5	60,0	76,0	68,0	16,5	19,5	18,0	70,5	75,5	73,0
média	16,0	30,5	23,5	52,5	77,5	65,0	16,0	19,0	17,5	72,0	77,5	75,0

ANEXO 10. Temperatura média mensal das sementes de soja durante o armazenamento nos silos A e B.

(°C)												
período de armazena- mento (meses)	Silo A				média	Silo B				média		
	altura a partir da chapa perfurada					altura a partir da chapa perfurada						
	(m)					(m)						
	0,05	0,30	0,55	0,80		0,05	0,30	0,55	0,80			
0 - 1	18,3	19,3	20,6	20,8	19,9	15,1	15,8	16,8	17,7	16,9		
	19,5	19,2	20,1	20,9		17,2	16,0	16,6	17,8			
	20,7	19,1	19,6	20,9		19,3	16,2	16,3	18,0			
1 - 2	17,0	17,3	17,2	17,2	18,4	13,6	14,4	15,0	16,4	16,4		
	19,4	17,8	17,4	18,8		1,70	15,3	15,7	17,6			
	21,7	18,3	17,7	20,4		20,5	16,3	16,5	18,8			
2 - 3	19,3	21,2	21,5	20,1	21,4	14,7	15,9	16,9	17,7	17,9		
	21,4	21,5	21,6	21,2		18,1	16,7	17,6	19,2			
	23,6	21,7	21,6	22,3		21,5	17,6	18,3	20,7			
3 - 4	18,9	19,6	20,8	20,5	20,8	15,7	16,9	17,5	18,9	18,6		
	21,5	20,1	20,8	20,9		18,7	17,4	18,2	20,4			
	24,1	20,5	20,8	21,2		21,8	17,9	19,0	21,9			
4 - 5	18,6	18,5	19,4	19,7	20,4	13,8	14,7	16,4	18,6	17,6		
	21,5	19,6	20,0	20,4		17,5	15,9	17,2	19,9			
	24,4	20,7	20,6	21,0		21,2	17,2	18,1	21,2			
5 - 6	23,4	22,5	22,8	23,2	24,0	17,5	18,1	19,7	22,1	20,9		
	25,9	23,2	23,1	23,7		20,9	19,2	20,4	23,4			
	28,4	23,9	23,4	24,2		24,3	20,4	21,2	24,8			

período de armazena- mento (meses)	Silo A				média	Silo B				média
	altura a partir da chapa perfurada (m)					altura a partir da chapa perfurada (m)				
	0,05	0,30	0,55	0,80		0,05	0,30	0,55	0,80	
6 - 7	24,6	24,5	27,8	26,1	26,2	20,1	20,7	22,5	24,5	22,9
	26,5 28,3	25,0 25,5	27,0 26,1	26,4 26,7		22,7 25,4	21,2 21,7	22,7 23,0	25,2 26,0	
8 - 9	22,6	22,5	23,2	23,6	23,8	17,9	18,6	19,8	21,7	20,7
	24,4 26,3	23,1 23,6	23,6 24,0	24,1 24,5		20,7 23,5	19,3 20,0	20,4 21,1	22,7 23,7	
9 - 10	22,9	23,8	24,7	24,8	24,7	17,9	19,1	20,6	22,1	21,5
	25,0 27,1	24,0 24,2	24,7 24,7	25,2 25,6		21,2 24,5	19,9 20,7	21,3 22,0	23,6 25,1	
10 - 11	22,7	23,9	24,6	24,8	24,7	18,2	19,2	20,8	22,5	21,7
	25,0 27,3	24,0 24,2	24,6 24,5	25,0 25,2		21,7 25,2	20,0 20,8	21,4 22,1	23,9 25,4	
11 - 12	21,8	22,3	22,6	22,2	23,0	16,4	17,0	19,0	20,0	19,6
	24,1 26,3	22,6 22,9	22,6 22,6	22,5 22,7		19,9 23,5	17,5 18,0	19,4 19,8	21,5 23,0	
12 - 13	18,0	20,4	21,0	20,8	20,6	13,9	15,9	17,4	18,5	17,8
	19,7 21,3	20,6 20,7	21,1 21,1	21,0 21,1		16,8 19,7	16,6 17,3	18,0 18,7	19,8 21,1	
13 - 14	17,5	18,9	19,3	19,2	19,7	11,9	13,1	14,8	16,4	15,8
	20,1 22,6	19,4 19,8	19,5 19,6	19,7 20,1		16,0 20,2	14,1 15,2	14,8 14,8	18,4 20,4	

ANEXO 10. (3)

(°C)

período de armazena- mento (meses)	Silo A					média	Silo B					média
	altura a partir da chapa perfurada (m)				altura a partir da chapa perfurada (m)							
	0,05	0,30	0,55	0,80	0,05		0,30	0,55	0,80			
14 - 15	17,6	19,2	19,6	19,5	19,6	12,3	13,5	14,9	16,2	15,8		
	19,8	19,3	19,5	19,7		15,8	14,2	15,5	17,9			
	22,0	19,4	19,4	19,9		19,4	15,0	16,2	19,7			
15 - 16	20,5	21,9	22,0	22,0	22,3	14,8	15,9	17,5	19,3	18,5		
	23,0	22,1	22,0	22,2		18,5	16,5	18,0	21,0			
	25,5	22,2	22,0	22,4		22,2	17,2	18,6	22,7			
16 - 17	19,2	19,5	20,0	20,1	20,3	14,6	15,5	16,9	18,3	17,8		
	20,6	19,9	20,2	20,6		17,6	16,2	17,6	19,9			
	22,0	20,3	20,4	21,0		20,7	17,0	18,4	21,5			
17 - 18	20,2	21,0	21,7	21,5	21,9	15,5	16,5	17,9	19,4	18,8		
	22,4	21,4	21,8	22,0		18,8	17,2	18,4	20,7			
	24,5	21,7	21,8	22,5		22,1	18,0	19,0	22,1			

a	c
b	

a = temperatura às 09:00 h

b = temperatura às 16:00 h

c = temperatura média entre a e b.

ANEXO 11. Teor de umidade médio mensal das sementes de soja durante o armazenamento nos silos A e B.

período de armazena- mento (meses)	silo A				média	silo B				média
	altura a partir da chapa perfurada					altura a partir da chapa perfurada				
	(m)					(m)				
	0,05	0,30	0,55	0,80		0,05	0,30	0,55	0,80	
0 - 1	13,8	10,5	9,8	9,7	11,0	11,3	9,7	9,6	9,7	10,1
1 - 2	11,1	11,6	11,2	10,5	11,1	10,2	10,4	10,6	10,3	10,4
2 - 3	10,7	10,4	11,7	11,3	11,0	9,5	9,5	10,4	9,9	9,8
3 - 4	11,2	10,8	10,9	11,3	11,1	10,1	9,7	9,7	9,0	9,6
4 - 5	11,9	11,0	10,8	11,0	11,2	10,2	9,6	9,4	8,9	9,5
5 - 6	10,9	10,8	10,9	10,8	10,9	9,5	9,2	9,6	8,4	9,2
6 - 7	13,7	11,1	10,8	10,9	11,6	10,4	9,3	9,4	9,0	9,5
7 - 8	14,2	12,1	11,2	11,0	12,1	10,5	9,6	9,6	8,7	9,6
8 - 9	13,3	12,7	12,1	11,5	12,4	10,4	9,5	9,6	8,9	9,6
9 - 10	12,9	12,7	12,6	11,9	12,5	10,6	9,6	9,8	9,0	9,8
10 - 11	12,6	12,4	12,7	12,2	12,5	10,7	9,9	9,8	9,2	9,9
11 - 12	11,8	12,0	12,2	12,1	12,0	10,3	9,8	9,8	8,9	9,7
12 - 13	13,5	11,6	11,5	11,5	12,0	10,2	9,5	9,6	8,8	9,5
13 - 14	12,3	11,3	11,4	11,5	11,6	10,5	9,6	9,6	8,5	9,6
14 - 15	11,1	11,3	11,3	11,5	11,3	9,8	9,3	9,5	8,8	9,4
15 - 16	10,6	11,5	11,5	11,3	11,2	9,7	9,4	9,5	9,0	9,4
16 - 17	11,9	11,3	11,6	11,5	11,6	9,8	9,6	9,6	8,4	9,4
média	12,2	11,5	11,4	11,3	11,6	10,2	9,6	9,7	9,0	9,6