

PAULO CESAR AFONSO JÚNIOR

**EFEITOS IMEDIATO E LATENTE DAS CONDIÇÕES DE SECAGEM SOBRE
A QUALIDADE DE SEMENTES DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.),
VARIEDADE “OURO NEGRO 1992”**

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Curso de Engenharia
Agrícola, para obtenção do título de
“Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
FEVEREIRO - 1997

PAULO CESAR AFONSO JÚNIOR

**EFEITOS IMEDIATO E LATENTE DAS CONDIÇÕES DE SECAGEM SOBRE
A QUALIDADE DE SEMENTES DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.),
VARIEDADE “OURO NEGRO 1992”**

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Curso de Engenharia
Agrícola, para obtenção do título de
“Magister Scientiae”.

APROVADA: 04 de setembro de 1996

Prof^a. Eveline Mantovani Alvarenga
(Conselheira)

Prof. José Helvecio Martins
(Conselheiro)

Prof^a. Lêda Rita D’Antonino Faroni

Prof. Mario Eduardo R. M. C. Mata

Prof. Paulo Cesar Corrêa
(Orientador)

A meus pais, Paulo e Marly,
pelo carinho e compreensão,
e meus irmãos, Hermano e Thaís,
Ofereço.

À minha esposa, Anamares,
e a meus filhos, Paulinho e Gabriela,
pelo incentivo e estímulo,
Dedico.

AGRADECIMENTO

Ao professor Paulo Cesar Corrêa, pela amizade, orientação e conselhos, pelos conhecimentos a mim transmitidos.

Aos professores conselheiros Eveline Mantovani Alvarenga e José Helvecio Martins, pelas valiosas críticas e sugestões.

Ao professor Paulo Roberto Cecon, pela paciência e colaboração na análise estatística dos resultados.

Aos professores Lêda Rita D'Antonino Faroni e Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata, pelas contribuições e sugestões.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, pela amizade e colaboração para a realização deste trabalho.

Ao funcionário do laboratório de análise de sementes Marcos Antonio Bibiano, pela contribuição e apoio.

Aos colegas da Pós-graduação, em especial aos amigos Eduardo, Volmir, Ricardo, Alberto, Divair e Gilvana pelo companherismo e amizade, pelas idéias e incentivo.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

A todos aqueles que, de alguma forma, colaboraram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

PAULO CESAR AFONSO JÚNIOR, filho de Paulo Cesar Afonso e Marly França Afonso, nasceu em Araxá, Estado de Minas Gerais, em 19 de outubro de 1965.

Em 1983 iniciou o Curso de Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa (UFV), graduando-se em julho de 1988.

Em março de 1994, iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, na área de Pré-Processamento e Armazenagem de Produtos Agrícolas, defendendo tese em setembro de 1996.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
EXTRATO	xiii
ABSTRACT	xv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Secagem de sementes	4
2.2. Efeitos da secagem e armazenamento sobre a qualidade de sementes	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1. Secagem e armazenamento de sementes	15
3.2. Teste padrão de germinação (TPG)	18
3.3. Primeira Contagem do TPG	18
3.4. Teste de tetrazólio	19
3.5. Teste de condutividade elétrica	19

3.6. Teste de suscetibilidade de sementes à quebra	20
--	----

3.7. Análise estatística dos dados	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1. Curvas de secagem de sementes de feijão	23
4.2. Qualidade inicial das sementes	27
4.3. Efeitos da temperatura, umidade inicial e umidade final sobre a germinação, logo depois da secagem (efeito imediato)	28
4.4. Efeitos da temperatura, umidade inicial e umidade final sobre o vigor, logo depois da secagem (efeito imediato)	30
4.5. Efeitos da temperatura, umidade inicial e umidade final sobre a germinação, 180 dias após a secagem (efeito latente).....	34
4.6. Efeitos da temperatura, umidade inicial e umidade final sobre o vigor, 180 dias após a secagem (efeito latente).....	37
4.7. Efeitos da temperatura, umidade inicial e umidade final sobre a susceptibilidade à quebra, logo depois da secagem	37
5. RESUMO E CONCLUSÕES	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
APÊNDICE A	52
APÊNDICE B	53
APÊNDICE C	58
APÊNDICE D	59
APÊNDICE E	60
APÊNDICE	F 62
APÊNDICE G	64

LISTA DE QUADROS

	Página
1. Resumo da análise de variância dos parâmetros "k" e "n" da equação de Page, em função da temperatura de secagem e teor de umidade inicial	23
2. Estimativa dos coeficientes da equação 5 para obtenção dos parâmetros k e n da equação de Page	25
3. Resultados médios de germinação e vigor das sementes de feijão, antes dos testes de secagem, avaliados pelo TPG, pela primeira contagem do TPG, pelos testes de tetrazólio e condutividade elétrica para os diferentes teores de umidade inicial	27
4. Teor médio de umidade das sementes de feijão após armazenagem por 180 dias	36
1B. Teores de umidade (b.s.) observados durante a secagem de sementes de feijão até à umidade final de 0,124 b.s. (11% b.u.), três repetições, para diferentes temperaturas do ar de secagem, para sementes com umidade inicial de 0,206 b.s. (17,1% b.u.)	53
2B. Teores de umidade (b.s.) observados durante a secagem de sementes de feijão até à umidade final de 0,124 b.s. (11% b.u.), três repetições, para diferentes temperaturas do ar de secagem, para sementes com umidade inicial de 0,343 b.s. (25,5% b.u.)	55
3B. Teores de umidade (b.s.) observados durante a secagem de sementes de feijão até à umidade final de 0,124 b.s. (11% b.u.), três repetições, para diferentes temperaturas do ar de secagem, para sementes com umidade inicial de 0,596 b.s. (37,3% b.u.)	56

1C. Valores médios das condições ambientais, durante a secagem, considerando as diferentes combinações de temperatura de secagem (T), teor de umidade inicial (UI) e teor de umidade final (UF) das sementes	58
1D. Valores dos parâmetros "k" e "n" da equação de Page, três repetições (Rep), considerando as diferentes combinações de temperatura de secagem (T), teor de umidade inicial (UI) e teor de umidade final (UF) das sementes	59
1E. Valores de suscetibilidade à quebra (SQ), germinação (G) e vigor, pelos testes de primeira contagem (PC), tetrazólio (TTZ) e condutividade elétrica (CE) de sementes de feijão logo depois da secagem, três repetições (Rep), para diferentes combinações de temperatura de secagem (T), teor de umidade inicial (UI) e teor de umidade final (UF) das sementes	60
1F. Valores de germinação (G) e vigor, pelos testes de primeira contagem (PC), tetrazólio (TTZ) e condutividade elétrica (CE) de sementes de feijão 180 dias após a secagem, três repetições (Rep), para diferentes combinações de temperatura de secagem (T), teor de umidade inicial (UI) e teor de umidade final (UF) das sementes	62
1G. Resumo da análise de variância da regressão dos parâmetros "k" e "n" da equação de Page, em função da temperatura do ar de secagem e teor de umidade inicial	64

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Desenho esquemático do secador experimental utilizado.....	16
2. Curvas observadas e estimadas de razão de umidade das sementes de feijão, para os diferentes níveis de temperatura de secagem e teor de umidade inicial de 17,1 % b.u.	25
3. Curvas observadas e estimadas de razão de umidade das sementes de feijão, para os diferentes níveis de temperatura de secagem e teor de umidade inicial de 25,5 % b.u.	26
4. Curvas observadas e estimadas de razão de umidade das sementes de feijão, para os diferentes níveis de temperatura de secagem e teor de umidade inicial de 37,3 % b.u.	26
5. Resultados de germinação de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 11% b.u.	29
6. Resultados de germinação de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 13% b.u.	29
7. Resultados médios da primeira contagem do teste padrão de germinação de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 11% b.u.	31

8. Resultados médios da primeira contagem do teste padrão de germinação de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 13% b.u.	31
9. Resultados médios do teste de tetrazólio de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 11% b.u.	32
10. Resultados médios do teste de tetrazólio de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 13% b.u.	32
11. Resultados médios do teste de condutividade elétrica de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 11% b.u.	33
12. Resultados médios do teste de condutividade elétrica de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 13% b.u.	33
13. Resultados de germinação de sementes de feijão 180 dias depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 11% b.u.	35
14. Resultados de germinação de sementes de feijão 180 dias depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 13% b.u.	35
15. Resultados médios da primeira contagem do teste padrão de germinação de sementes de feijão aos 180 dias após a secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 11% b.u.	38
16. Resultados médios da primeira contagem do teste padrão de germinação de sementes de feijão aos 180 dias após a secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 13% b.u.	38

17. Resultados médios do teste de tetrazólio de sementes de feijão aos 180 dias após a secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 11% b.u.	39
18. Resultados médios do teste de tetrazólio de sementes de feijão aos 180 dias após a secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 13% b.u.	39
19. Resultados médios do teste de condutividade elétrica de sementes de feijão aos 180 dias após a secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 11% b.u.	40
20. Resultados médios do teste de condutividade elétrica de sementes de feijão aos 180 dias após a secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 13% b.u.	40
21. Resultados médios de suscetibilidade à quebra de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 11% b.u.	41
22. Resultados médios de suscetibilidade à quebra de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 13% b.u.	41
1A. Valores diários médios de temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar no local de armazenagem, registrados em termoigrógrafo durante seis meses.....	52

EXTRATO

AFONSO JÚNIOR, Paulo Cesar, M.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 1997; **Efeitos Imediato e Latente das Condições de Secagem Sobre a Qualidade de Sementes de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), Variedade "Ouro Negro 1992"**. Professor Orientador: Paulo Cesar Corrêa. Professores Conselheiros: Eveline Mantovani Alvarenga e José Helvecio Martins.

Para proporcionar informações sobre o processo de secagem de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), foi desenvolvido este trabalho objetivando determinar as curvas de secagem em camada fina e avaliar os efeitos, imediato e latente, para quatro níveis de temperatura do ar de secagem (35, 40, 45 e 50°C), três níveis de teor de umidade inicial (17,1; 25,5 e 37,3% b.u.) e dois níveis de teor de umidade final (11 e 13% b.u.), sobre a qualidade fisiológica e a suscetibilidade à quebra das sementes. Os testes de secagem foram realizados utilizando um secador experimental em que um ventilador axial fornecia o ar de secagem e conduzia-o com um fluxo aproximadamente constante de $10 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ até o plenum, onde o ar era distribuído em três bandejas removíveis contendo as amostras de sementes. Os dados experimentais de secagem em camada fina foram avaliados ajustando-se o modelo proposto por Page. Para analisar a qualidade fisiológica das sementes, logo depois da secagem e depois de 180 dias em armazenagem, foram efetuados o teste padrão de germinação e, como

indicativos de vigor, a avaliação da primeira contagem do teste padrão de germinação e os testes de tetrazólio e condutividade elétrica. Para avaliar a suscetibilidade à quebra de sementes logo depois da secagem, utilizou-se o equipamento "Stein Breackage Tester". A análise dos resultados permite concluir que o modelo de Page com os parâmetros "k" e "n" ajustados exponencialmente em função da temperatura do ar de secagem e teor de umidade inicial, descreve satisfatoriamente o processo de secagem de sementes de feijão. Observou-se que a temperatura do ar de secagem e os teores de umidade inicial e final afetam a germinação e o vigor das sementes, logo depois da secagem e depois de 180 dias de armazenagem. Verificou-se também que as sementes com menor teor de umidade inicial (17,1% b.u.) apresentaram os melhores resultados de germinação e vigor logo depois da secagem e depois de 180 dias de armazenagem, independentemente da temperatura utilizada e do teor de umidade final alcançado. Os efeitos da secagem sobre a germinação e o vigor das sementes de feijão com umidade inicial de 25,5 % b.u. foram menos acentuados logo depois da secagem, quando comparado aos resultados encontrados depois de armazenagem por 180 dias, para a faixa de temperatura e umidade final em estudo. Entretanto, sementes com umidade inicial de 25,5% b.u. submetidas à secagem em temperatura de 35°C até atingir teor de umidade final de 13% b.u. apresentaram germinação superior a 80% e alto vigor, depois do período de armazenagem por 180 dias. As sementes com umidade inicial de 37,3% b.u. foram mais suscetíveis à perda da qualidade fisiológica logo depois da secagem e depois do armazenamento por 180 dias, para todos os níveis de temperatura e umidade final. Verificou-se que a suscetibilidade à quebra das sementes de feijão logo depois da secagem aumenta com o aumento no teor de umidade inicial, independentemente da temperatura utilizada.

ABSTRACT

AFONSO JÚNIOR, Paulo Cesar, M.S., Federal University of Viçosa, february 1997; **Immediate and Latent Effects from Drying Conditions upon Quality of Bean Seeds (*Phaseolus vulgaris* L.), Variety "Ouro Negro 1992"**. Advisor: Paulo Cesar Corrêa. Committee Members: Eveline Mantovani Alvarenga and José Helvecio Martins.

To give information about the drying process of bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.) the objective of this work was to determinate thin-layer drying curves and to evaluate the immediate and latent effects at four temperature levels of drying air (35, 40, 45 and 50 °C), three levels of initial moisture contents (17,1; 25,5 and 37,3% w.b.) and two levels of final moisture contents (11 and 13% w.b.) on the physiological quality and susceptibility to seed breakage. The drying tests were accomplished using an experimental dryer in which an axial fan provided the drying air leading it into the plenum with a constant flux about $10 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ where the air was distributed on three removable trays containing seed samples. The experimental data of the thin-layer drying were evaluated by adjusting the model proposed by Page. To analyse seed physiological quality soon after drying and 180 days under storage it was made the germination standard test and the vigour indications were the

first-counting evaluation of the germination standard test and the tetrazolium and electric conductivity tests. To evaluate the susceptibility to breakage soon after drying, it was used the "Stein Breakage Tester" equipment. The result analysis allow to conclude that Page's model provided with the parameters k and n , exponentially adjusted as a function of drying-air temperature and initial moisture content, describes satisfactorily the drying process of bean seeds. It was observed that the drying-air temperature and initial and final moisture contents affect seed germination and vigour soon after drying and 180 days under storage. Also it was verified that seeds with lower initial moisture content (17,1% w.b.) presented better germination and vigour results soon after drying and 180 days under storage independently from the used temperature and final moisture content. The drying effects on germination and vigour of bean seeds with initial moisture of 25,5% w.b. was less accentuated soon after drying when compared to the results encountered after 180 days under storage, for the temperature and final moisture intervals studied. However, seeds with initial moisture of 25,5% w.b. submitted to drying at 35 °C temperature until reaching the final moisture content of 13% w.b., presented germination above 80% and a high vigour after 180 days under storage. Seeds with initial moisture of 37,3% w.b. were more susceptible to physiological quality loss soon after drying and 180 days under storage, for all temperatures and final moisture levels. It was verified that the susceptibility to bean seed breakage soon after drying increases with increasing initial moisture content, independently from the used temperature.

1. INTRODUÇÃO

O feijão caracteriza-se como um produto agrícola que apresenta altos riscos de produção e de mercado, elevados níveis de flutuação de produtividade da cultura e dos preços em nível de produtor. Conjugado a outros fatores sócio-culturais, tal fato confere à cultura do feijão ampla diversificação das técnicas de cultivo bem como um caráter tanto de subsistência em algumas regiões produtoras do país quanto de lavoura comercial em outras, sendo todas elas regiões tipicamente de pequenos produtores.

A pouca disponibilidade de sementes e a falta de política adequada constituem um entrave ao desenvolvimento da cultura do feijoeiro. No entanto, as chances de ganhos econômicos provenientes desta lavoura crescem com a utilização de sementes de boa qualidade. Este é um fato, apesar da possibilidade de ocorrência de eventuais intempéries climáticas ou de mercado durante as safras que, no Brasil, totalizam três por ano agrícola com concentração da colheita em novembro-janeiro (safra das águas), abril-maio (safra da seca) e agosto-outubro (safra de inverno).

Na agricultura moderna, a semente desempenha importante papel como insumo portador de tecnologia. No Brasil, a produção de sementes melhoradas de feijão cresceu de 16,67 mil toneladas em 1983/84 para 22,67 mil toneladas em 1993/94 apresentando pico de produção em 1990/91, estimada em 31,30 mil toneladas. Minas Gerais é um dos principais produtores

de sementes de feijão representando, em 1993/94, 18 % do total produzido em uma área plantada de 554 mil ha. No entanto, na maioria dos estados, a taxa média de utilização de sementes melhoradas de feijão foi e continua sendo muito baixa, ou seja, inferior a 15% (ANUÁRIO ABRASEM, 1995). NETTO (1979) menciona que na composição do custo de produção, o custo da utilização de sementes melhoradas é relativamente pequeno e vantajosamente compensado pela maior produtividade.

O objetivo principal de um sistema de produção de sementes consiste em obter materiais com elevada qualidade genética, física, fisiológica e sanitária, que resultarão em elevação da produção agrícola. A manutenção da qualidade da semente de uma safra para outra é de suma importância para o crescimento da produção de feijão, assim como a época adequada de colheita para a produção de sementes de alta qualidade. Embora o momento ideal para a colheita das sementes é aquele em que elas atingem o ponto de maturidade fisiológica, frequentemente nesse momento as sementes encontram-se com teor de umidade acima daquele recomendado para armazenagem, o que torna necessário aguardar no campo que elas atinjam a umidade apropriada ao início da colheita. Assim, a porcentagem de sementes infectadas por patógenos e/ou atacadas por insetos aumenta enquanto a germinação e o vigor diminuem à medida que prolonga-se seu tempo de permanência no campo após a maturação fisiológica, aguardando o "ponto de colheita". Para evitar tais perdas, torna-se imperativo antecipar ao máximo o momento de colheita, obtendo assim sementes com teor de umidade elevado, que necessitarão de secagem garantindo-lhes um período seguro de armazenamento até o próximo plantio. Segundo PEREZ (1982), as perdas de produção por falta de secagem e/ou armazenamento adequado atingem de 10 a 30 %, variando conforme o produtor.

Quando conduzida sem os devidos cuidados, a secagem pode concorrer para redução do potencial de qualidade das sementes. Aparentemente, os efeitos da secagem em temperaturas mais elevadas não são imediatos, pois somente após algum tempo de armazenagem é que esses efeitos tornam-se mensuráveis. Alguns pesquisadores afirmam que a intensidade das danificações imediatas e latentes, causadas às sementes pela

secagem, varia de acordo com a espécie e a variedade e depende da interação entre temperatura de secagem e teores de umidade inicial e final das sementes, dentre outros fatores.

As operações inadequadas de secagem com ar aquecido tornam as sementes mais suscetíveis a danos mecânicos. A suscetibilidade das sementes aos danos mecânicos, tais como trincamento e quebra, varia de acordo com a espécie e teor de umidade da semente, temperatura do ar de secagem e taxa de secagem.

Particularmente para o caso do feijão e principalmente para as variedades mais novas, poucos trabalhos vêm sendo realizados no sentido de proporcionar informações sobre os efeitos imediato e latente da combinação da temperatura, umidade inicial e umidade final, durante o processo de secagem, sobre a qualidade e suscetibilidade à quebra de sementes de feijão.

Baseado nessas considerações, este trabalho teve por objetivos :

- Determinar as curvas de secagem de sementes de feijão, em camadas finas, sob diferentes temperaturas e a diferentes teores de umidade inicial.
- Avaliar os efeitos imediato e latente da temperatura de secagem sobre a germinação e vigor de sementes de feijão, a diferentes teores de umidade inicial e final.
- Avaliar o efeito imediato sobre a suscetibilidade à quebra de sementes de feijão submetidas a diferentes condições de secagem.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Secagem de sementes

BROOKER et alii (1992) definem a secagem como um processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem.

Durante a secagem, a perda de umidade ocorre devido à movimentação da água que resulta de uma diferença de pressão de vapor d'água entre a superfície do produto e o ar que o envolve. Para que um produto seja submetido ao fenômeno de secagem, é necessário que a pressão parcial de vapor d'água em sua superfície seja maior do que a pressão parcial do vapor d'água no ar de secagem (CARVALHO, 1994).

Alguns autores consideram que a água do grão ou semente apresenta-se pelo menos, sob três formas diferentes em função da natureza das ligações físico-químicas existentes entre as moléculas de água e as macromoléculas das partículas coloidais dispersas, principalmente em tecidos de reserva (LASSERAN, 1978; CARVALHO, 1994).

Segundo LASSERAN (1978), a primeira dessas formas é constituída por uma camada monomolecular de água, quimicamente ligada às macromoléculas da matéria biológica. Na segunda, a água é representada por uma camada polimolecular, depositada sobre a monocamada precedente. A

terceira forma corresponde à água líquida retida no interior do produto sob tensão osmótica, que é fracamente adsorvida e capaz de promover processos biológicos como reações enzimáticas e desenvolvimento de patógenos.

O fenômeno de migração de umidade no interior de grãos ainda não é bem conhecido. Numerosos mecanismos térmicos e físicos têm sido propostos para descrever o transporte de umidade em produtos capilares porosos higroscópicos (HALL, 1980; BROOKER et alii, 1992). Estudando a movimentação de umidade no interior de grãos submetidos ao processo de secagem, alguns pesquisadores afirmam que possivelmente o transporte de umidade ocorre por difusão de líquido ou difusão de vapor ou, ainda, por combinação destes mecanismos, predominando um ou outro durante a secagem (ALVARENGA et alii, 1980; STEFFE e SINGH, 1980; DALPASQUALE et alii, 1984/85).

Segundo HALL (1980), o processo de secagem de produtos biológicos, em geral, pode ser dividido em dois períodos distintos, ou seja, um primeiro período com taxa de secagem constante e o segundo com taxa de secagem decrescente. BROOKER et alii (1992) caracteriza o período com taxa de secagem decrescente pela descontinuidade da fina camada de água que cobre a superfície do grão. Neste período, a resistência interna ao transporte de umidade torna-se maior do que a resistência externa à remoção do vapor d'água da superfície do produto; o teor de umidade que separa estes dois períodos é denominado umidade crítica e depende da forma do produto e condições de secagem. De acordo com HENDERSON e PERRY (1979), quase todos os produtos agrícolas normalmente apresentam teor de umidade inferior ao teor de umidade crítico, quando submetidos ao processo de secagem. Conseqüentemente, para o caso de grãos e sementes, em geral o período de taxa de secagem constante não é observado.

Na literatura existem várias equações teóricas, semiteóricas e empíricas para descrever o fenômeno de secagem em camadas finas. Lewis em 1921, citado por BROOKER et alii (1992) sugeriu uma equação análoga à lei de Newton para o resfriamento. O autor menciona que durante a secagem de produtos higroscópicos porosos, no período de taxa de secagem decrescente, a taxa de transferência de umidade é proporcional a diferença

instantânea entre o teor de umidade do produto e o teor de umidade esperado do material em equilíbrio com ar de secagem, conforme a expressão

$$\frac{d\bar{U}}{dt} = -k [\bar{U} - U_e] \quad (\text{eq. 1})$$

em que

- $\bar{U}$ = teor de umidade médio do produto no tempo (t), decimal, b.s.;
- U_e = teor de umidade de equilíbrio do produto, decimal, b.s.
- t = tempo de secagem, h;
- k = constante de secagem, h^{-1} .

Integrando a equação 1 entre os limites U_0 , no início da secagem e U num tempo t qualquer de secagem, tem-se

$$RU = \frac{\bar{U}(t) - U_e}{U_0 - U_e} = \exp(-k \cdot t) \quad (\text{eq. 2})$$

em que

- RU = razão de umidade, adimensional;
- U_0 = teor de umidade inicial, decimal, b.s.;

Esta equação tem sido aplicada satisfatoriamente em alguns estudos para descrever a secagem de grãos e sementes em camadas finas (ROSS e WHITE, 1972; WESTERMAN et alii, 1973; WHITE et alii, 1981; CLASER, 1995). Entretanto, a literatura apresenta relatos de insucesso em sua aplicação (CHIN e JHONSON, 1969).

Uma modificação da equação 2 foi proposta por Page citado por WHITE et alii (1981) para descrever a secagem de milho em camadas finas. O modelo empírico foi apresentado na forma

$$RU = \exp (-k \cdot t^n) \quad (\text{eq. 3})$$

Em que "n" é um parâmetro empírico e adimensional de secagem.

OVERHULTS et alii (1973), estudando a secagem de soja em camadas finas, com teores iniciais de umidade 0,20; 0,23 e 0,33 b.s., em temperaturas do ar de secagem de 38, 54, 71, 88 e 104°C concluíram que a equação de Page descreveu muito bem a secagem nas condições descritas. A análise de regressão múltipla foi utilizada para avaliar os efeitos relativos da umidade inicial e temperatura sobre o valor do parâmetro "n". Os resultados indicaram que a umidade inicial não afetou significativamente este termo. Para determinação do parâmetro "k", em função da temperatura do ar de secagem, empregou-se uma equação do tipo Arrhenius. WHITE et alii (1981) estudou a secagem de soja em camadas finas, com teor de umidade inicial variando de 0,16 a 0,24 b.s. e SOARES (1986) conduzindo o mesmo estudo com teores de umidade inicial variando de 0,13 a 0,33 b.s., em temperaturas de secagem de 30 a 72°C, concluíram que o modelo modificado por Page descreve adequadamente este processo de secagem. Os valores de "k" e "n" foram obtidos por análise de regressão linear, verificando-se ainda que "n" não depende do teor de umidade inicial e que o parâmetro "k" é uma função do teor de umidade inicial do produto e da temperatura do ar de secagem.

Em geral, o parâmetro "k" representa o efeito das condições externas de secagem, enquanto "n" reflete a extensão da resistência interna do produto à secagem, para determinadas condições externas (MISRA e BROOKER, 1980). BROOKER et alii (1992) mencionam que os valores dos coeficientes "k" e "n" variam de acordo com o tipo de produto e a temperatura do ar de secagem.

Testes de secagem de trigo em camada fina, com temperatura do ar de secagem na faixa de 35 a 85°C e teores de umidade inicial de 0,166; 0,212 e 0,323 b.s. foram conduzidos por RAMOS et alii (1993/94). Os autores verificaram que o valor de "k" da equação de Page varia com a temperatura de secagem. Entretanto, observaram que o coeficiente "n" do modelo varia com o

teor de umidade inicial do produto, sendo pouco afetado pela temperatura do ar de secagem.

SATHLER (1979) realizando a secagem de sementes de feijão com teor de umidade inicial de 30% b.u., em camadas delgadas, em temperaturas de 40, 50 e 60°C e umidades relativas do ar de secagem de 40 e 50%, concluiu que a secagem de feijão ocorre em um único período no qual a taxa de secagem decresce exponencialmente, sendo o modelo empírico proposto por Page adequado para descrever os dados experimentais. Verificou ainda que os parâmetros "k" e "n" não dependem da umidade relativa do ar de secagem e "k" é função da temperatura.

2.2. Efeitos da secagem e armazenamento sobre a qualidade de sementes

Estudando a adaptabilidade e estabilidade de comportamento de doze cultivares de feijão, em três épocas diferentes e em quatro municípios da Zona da Mata, Estado de Minas Gerais, MIRANDA et alii (1993) concluíram que a variedade de feijão preto "Ouro Negro 1992" foi a que exibiu maior capacidade produtiva em todos os ambientes, sobretudo nos mais favoráveis. Como as variedades de feijão apresentam ampla diversidade genética em relação à sua área de adaptação, para obter sementes sadias de feijão é necessário que elas sejam produzidas de acordo com técnicas racionais, o que torna a localização de áreas adequadas imprescindível.

A máxima porcentagem de germinação e vigor de sementes de feijão é obtida quando as sementes atingem a maturação fisiológica e apresentam teor de umidade médio entre 38 e 44% b.u. (NEUBERN e CARVALHO, 1976). Teoricamente, este deveria ser o ponto adequado para a colheita de sementes ou, pelo menos, próximo dele. No entanto, aliado ao fato que depois do processo de maturação as sementes desligam-se fisiologicamente da planta mãe e devido a ocorrência de condições adversas, ataques de insetos e doenças, que normalmente favorecem o processo de deterioração provocando quedas em germinação e vigor, as sementes devem ser colhidas o mais rápido possível a partir do momento em que atingem altos níveis de qualidade, para

evitar permanência desnecessária no campo (CARVALHO e NAKAGAWA, 1988). Em geral, é recomendável iniciar a colheita dos campos de produção tão logo as sementes de feijão atingem umidade em torno de 20% b.u. (AZEVEDO e LAUDARES FILHO, 1982). Entretanto, como em outras culturas, nem sempre o teor de umidade adequado para a colheita das sementes de feijão é o melhor para que o produto seja corretamente armazenado e conseqüentemente comercializado.

Em um sistema de produção de sementes, portanto, uma das etapas mais importantes para obtenção de sementes de alta qualidade é a operação de secagem, cujo objetivo consiste em baixar o teor de umidade das sementes para a faixa de 11 - 13% b.u., não prejudicando sua qualidade e garantindo armazenagem segura (VIEIRA et alii, 1993).

Entende-se por qualidade de semente a interação dos atributos de natureza genética, física, fisiológica e sanitária, sendo os componentes físico e fisiológico altamente afetados pelo ambiente em que formaram-se as sementes e pelas condições de colheita, secagem, beneficiamento e armazenamento. BORÉM (1992) e BROOKER et alii (1992) mencionam que os parâmetros de secagem, associados à redução na qualidade das sementes, são a temperatura, umidade relativa e vazão do ar de secagem, o tempo de residência do produto na câmara de secagem, a taxa de secagem e os teores de umidade inicial e final do produto.

A temperatura que pode danificar uma semente varia de acordo com a espécie e o teor de umidade inicial. Temperaturas elevadas podem desnaturar parcialmente alguns componentes do produto, alterando suas características físicas, químicas e reduzindo sua germinação e vigor. COPELAND (1976) recomenda que, para sementes, a temperatura do ar de secagem não deve ultrapassar 37.8°C. CARVALHO e NAKAGAWA (1988) recomendam que a temperatura máxima das sementes deve ser de 32°C para teores de umidade acima de 18% b.u., 38°C para teores entre 10 e 18% b.u. e 43°C para teores de umidade inferiores a 10% b.u.

MOKSHIN e SILCHENKO (1962) afirmam que a germinação de sementes de feijão de diferentes variedades, submetidas à secagem, em temperaturas de 20 a 80°C e teores de umidade inicial entre 17.5 e 30.5% b.u.,

foi pouco afetada por temperatura do ar de secagem até 60°C, porém decresceu rapidamente para temperaturas entre 70 e 80°C. Resultados semelhantes foram encontrados por SATHLER (1979) que, estudando os efeitos da temperatura (30, 35, 40, 45 e 50°C) e da umidade relativa do ar de secagem (40 e 50%) sobre a germinação de sementes de feijão, cultivar Rico 23, com teor de umidade inicial em torno de 30% b.u., concluiu que a germinação torna-se menor quanto maior for a temperatura do ar de secagem, atribuindo este fato à desnaturação e reestruturação das moléculas protéicas das sementes. Este autor verificou também que o efeito da umidade relativa do ar sobre a germinação foi desprezível para as condições de secagem aplicadas.

Trabalhando com secagem de sementes de soja em diversas temperaturas (32 a 66°C), Pfof citado por SATHLER (1979) verificou que a germinação não é afetada pela temperatura do ar de secagem, quando esta é, no máximo, de 54°C, porém diminui claramente em temperaturas mais elevadas. O autor verificou ainda que a umidade relativa do ar de secagem tem pequeno efeito sobre a germinação, não havendo nenhuma correlação significativa de germinação e umidade relativa, exceto em secagem a 66°C de sementes de soja com alto conteúdo de umidade inicial. WHITE et alii (1976) trabalhando com secagem de sementes de soja em temperaturas do ar de secagem de 24, 41, 57 e 74°C a um fluxo de ar de aproximadamente 15 m³.min⁻¹.m⁻², verificaram que para as temperaturas de 24°C e 41°C a germinação foi pouco afetada. Observou também que, para temperatura de 57°C, a germinação foi reduzida à metade do valor inicial enquanto para temperatura de secagem de 74°C não houve germinação das sementes.

TANG e SOKHANSANJ (1993) estudaram a redução da viabilidade de sementes de lentilha considerando o teor de umidade inicial (16, 18 e 20% b.u.), a temperatura de secagem (40, 60 e 80°C) e a umidade relativa do ar de secagem (5 a 70%) e concluíram que a germinação permaneceu alta e relativamente uniforme após secagem em temperaturas de 40°C e 60°C, para a faixa de 5 a 70% de umidade relativa. Entretanto, na temperatura de secagem de 80°C, nos três níveis de umidade inicial, houve significativa redução na viabilidade das sementes. No entanto, TRAVAGLINI e TANGO

(1965/66) verificaram os efeitos de diferentes temperaturas durante a secagem de sementes de amendoim em casca, variedade Tatu, sobre a qualidade do produto utilizando amostras com aproximadamente 40 % b.u., secadas ao sol e em temperaturas de 50 a 80 °C. Os resultados mostraram que, para secagens com ar aquecido, a redução do poder germinativo foi significativa logo depois da secagem, e depois de três meses de armazenagem observaram o efeito latente da secagem sobre a redução da viabilidade das sementes.

ARAUJO et alii (1984) avaliou os efeitos da secagem de vagens de feijão, cultivar Costa Rica, colhidas em três épocas diferentes, sobre a qualidade das sementes. Foram utilizadas temperaturas de secagem de 40, 50 e 60°C. O autor verificou que a temperatura de 40°C não influenciou a germinação e o vigor das sementes logo depois da secagem e nem mesmo depois de um ano de armazenamento. Observou ainda uma redução em germinação e vigor das sementes, imediatamente depois da secagem em temperaturas de 50°C e 60°C e depois de um ano de armazenagem. Por fim, concluiu que o efeito prejudicial, imediato e latente da secagem sobre a qualidade das sementes foi mais acentuado à temperatura de 60°C.

Segundo DELOUCHE e BASKIN (1973), embora sendo um indicativo importante da perda de qualidade das sementes, a redução do poder germinativo é o evento final do processo de deterioração, enquanto a degradação das membranas celulares é um dos primeiros sinais da deterioração da semente. Assim, a utilização de testes de vigor é muito útil ao acompanhamento da perda de qualidade das sementes a partir da maturidade, durante a colheita, secagem, beneficiamento e armazenamento, uma vez que a perda de vigor precede a perda de viabilidade.

De acordo com VIEIRA (1994), durante a secagem das sementes, as membranas celulares sofrem um processo de desorganização estrutural e, dependendo do nível de desorganização, as sementes podem apresentar redução ou perda de vigor. Tal fato está diretamente relacionado à perda de permeabilidade seletiva das membranas celulares, o que resulta em aumento da quantidade de constituintes celulares liberados para a água de embebição. Assim, um meio para avaliar o vigor de um lote de sementes é a condutividade

elétrica medida na solução de embebição das sementes, que reflete a quantidade de lixiviados perdidos e a integridade das membranas celulares.

Na literatura existem diversos trabalhos que, realizados com diferentes espécies, mostraram que a suscetibilidade de grãos e sementes a danos mecânicos tais como trincamento e quebra, varia significativamente de acordo com a espécie, variedade e as condições de secagem (MORAES et alii, 1980; PAULSEN et alii, 1981; GUSTAFSON et alii, 1983; PAULSEN et alii, 1983; GUNASEKARAN e PAULSEN, 1985).

HOKI e PICKETT (1973) estudaram vários fatores relacionados aos danos mecânicos em feijão "navy" e verificaram que o teor de umidade é o fator mais importante afetando a suscetibilidade dos grãos de feijão a estes danos. Os autores concluíram que grãos com baixo teor de umidade são mais suscetíveis à quebra devido à presença de trincas internas nos cotilédones. OVERHULTS et alii (1973) e WHITE et alii (1980) observaram que rachaduras e trincas do tegumento e cotilédones de grãos de soja, submetidos à secagem, podem estar relacionadas ao o teor de umidade inicial dos grãos e à taxa de secagem.

ROJANASAROJ et alii (1976) trabalhando com grãos de soja, concluíram que a suscetibilidade dos grãos aos danos aumenta com temperaturas do ar de secagem mais elevadas e com teores de umidade final menores. Resultados semelhantes foram encontrados por Pfost citado por VALVERDE (1989), que estudou os efeitos da secagem sobre trincas em sementes de soja, utilizando temperaturas do ar de secagem entre 32 e 66°C e concluiu que o percentual de trincas aumenta com o aumento da temperatura de secagem, do teor de umidade inicial e da taxa de secagem e diminui com o aumento do teor de umidade final das sementes.

RADAJEWSKI et alii (1992) verificaram a relação entre temperatura e umidade relativa do ar de secagem com os danos em feijão "navy". Concluíram que temperaturas entre 32°C e 62°C não causam danos aparentes em sementes cuja umidade inicial é inferior a 25% b.u., quando a umidade relativa do ar de secagem é superior a 26%. Resultados semelhantes foram obtidos por WALKER e BARRE (1972) que realizaram testes de secagem em camada fina, a temperaturas entre 32 e 66°C, em duas variedades de soja com

umidade relativa de 20 a 60% e teores de umidade inicial entre 16 e 20% b.u., concluindo que o teor de umidade inicial não teve efeito significativo sobre o número de tegumentos e cotilédones trincados, para o intervalo estudado.

Durante o armazenamento, dois fatores são extremamente importantes para a manutenção do poder germinativo e vigor das sementes, ou seja, a temperatura e a umidade relativa do ar. Esta última está intimamente relacionada ao teor de umidade das sementes. Além desses dois fatores, a viabilidade e vigor das sementes são também influenciados pela variedade, localidade de produção e danos sofridos durante os processos de colheita, trilha, secagem e beneficiamento (MAEDA et alii, 1982; VIEIRA et alii, 1993). A qualidade inicial do produto a ser armazenado afeta substancialmente as perdas, principalmente aquelas causadas pela deterioração.

ZINK e ALMEIDA (1970) realizaram estudos sobre a conservação de sementes de feijão, quando armazenadas em diferentes embalagens e condições adversas de temperatura e umidade relativa do ar. Concluíram que as sementes conservam-se satisfatoriamente por um período de dois anos, em ambiente com temperatura e umidade relativa normal de armazém, quando seu teor de umidade é aproximadamente 10% b.u. e são mantidas em sacos de aniagem. DEL GIUDICE et alii (1972) realizaram um estudo comparativo entre diferentes processos de armazenagem de feijão preto, por um período de 24 meses, no município de Viçosa, MG. Concluíram que o produto mantém melhor suas qualidades originais, quando armazenado com teor de umidade em torno de 13% b.u. e temperatura média de 18°C.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no laboratório de Pré-Processamento e Armazenagem de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola e no laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia, pertencentes ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Viçosa.

Foram utilizadas sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar "Ouro Negro 1992" plantado no período da seca, procedentes do município de Teixeira, MG. As sementes foram colhidas e debulhadas manualmente com teores iniciais de umidade correspondentes a 17,1; 25,5 e 37,3 % b.u., no período de maio a junho de 1995, formando três lotes distintos.

Durante o processo de debulha manual as sementes imaturas, deterioradas ou danificadas foram eliminadas, visando homogeneidade e melhor qualidade dos lotes.

Sendo impossível executar os tratamentos de secagem, simultaneamente, as sementes foram homogeneizadas, acondicionadas em sacos de polietileno e conservadas em câmara fria à temperatura de 5°C aproximadamente, até o momento da secagem.

O teor de umidade inicial das sementes foi determinado pelo método padrão da estufa ($105 \pm 3^\circ\text{C}$, durante 24 h) com duas repetições, conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992).

3.1. Secagem e armazenamento de sementes

Antes da operação de secagem, as amostras foram retiradas da câmara fria e expostas à temperatura ambiente por aproximadamente 12 horas a fim de atingir o equilíbrio térmico.

Os tratamentos de secagem foram constituídos de um esquema fatorial 4 x 3 x 2, com quatro níveis de temperatura (35, 40, 45 e 50 °C), três níveis de umidade inicial (17,1; 25,5 e 37,3 % b.u.) e dois níveis de umidade final (11 e 13 % b.u.), em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições.

Para cada tratamento de secagem foram utilizadas cerca de 500g de sementes por repetição.

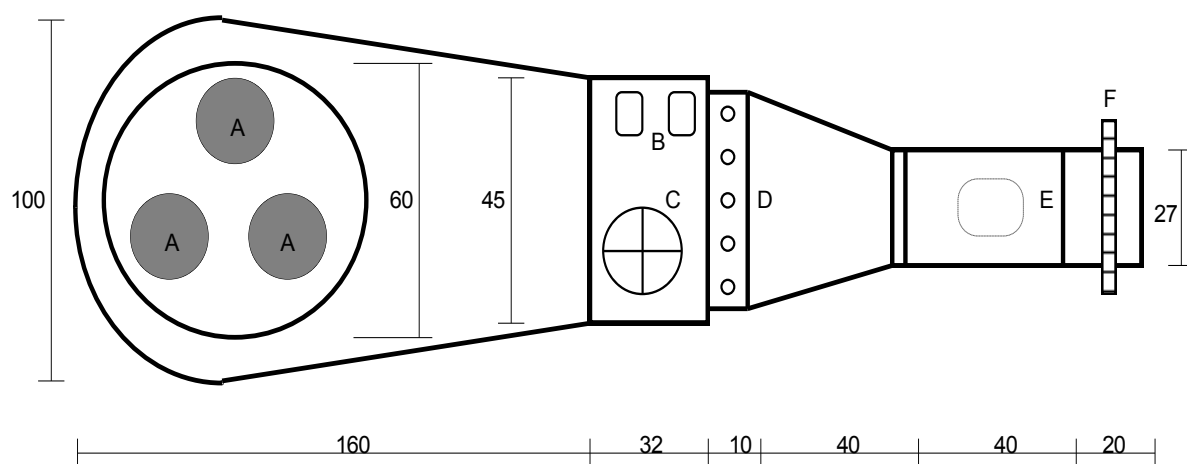
Os testes de secagem das sementes foram realizados utilizando-se um secador experimental provido com um ventilador axial que fornecia o ar de secagem conduzindo-o em velocidade aproximadamente constante até o plenum, onde ele era distribuído em três bandejas removíveis contendo as amostras de sementes (Figura 1).

O ar foi aquecido através de resistências elétricas enquanto suas temperaturas foram controladas com o auxílio de um transformador-variador de tensão de 0 a 140 volts, conectado em série às resistências elétricas. Os valores de temperatura foram obtidos por meio de um termômetro de mercúrio, cujo bulbo foi instalado imediatamente abaixo da camada de sementes, no centro do duto vertical.

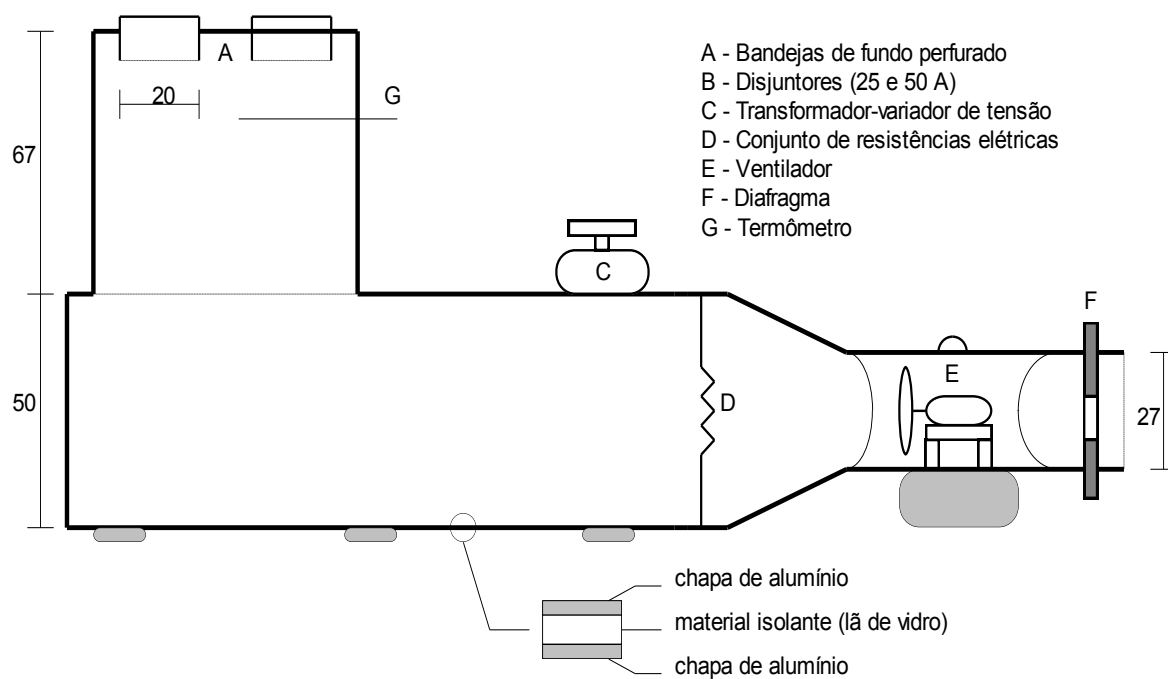
O fluxo de ar foi determinado a partir da velocidade do ar de secagem por meio de um anemômetro de lâminas rotativas e controlado por um diafragma, adaptado à entrada de ar do ventilador, e mantido constante para todos os tratamentos de secagem em aproximadamente 10 m³.min⁻¹.m⁻².

Para o cálculo das razões de umidade (RU), calculou-se a umidade de equilíbrio higroscópico utilizando-se a equação de Henderson modificada por BACH (1979) para feijão preto, ou

$$U_e = \left[\frac{\ln(1 - UR)}{(-8,0707 \times 10^{-16}) \cdot (T + 273,15)^{5,2304}} \right]^{1/1,7692} \quad (\text{eq. 4})$$



VISTA SUPERIOR



VISTA LONGITUDINAL

Figura 1. Desenho esquemático do secador experimental utilizado.

em que

- Ue = teor de umidade de equilíbrio, % b.s.;
- UR = umidade relativa do ar de secagem, decimal;
- T = temperatura do ar de secagem, °C.

Para cada tratamento de secagem, a umidade relativa do ar secante foi calculada por meio de um programa computacional desenvolvido a partir de equações psicrométricas (GRAPSI) e um psicrômetro, instalado na entrada de ar do ventilador.

Durante a operação de secagem foram realizadas pesagens periódicas das amostras até que o teor de umidade final pré-estabelecido fosse atingido. Depois da secagem, as sementes foram mantidas em ambiente desumidificado até atingirem a temperatura ambiente. Foram então, divididas em três subamostras e acondicionadas em sacos de papel, sendo duas subamostras destinadas aos testes de germinação e vigor (imediato e latente) e a terceira ao teste de susceptibilidade à quebra. Para todos os tratamentos, depois da secagem foi realizada separação visual, a fim de obter sementes aparentemente perfeitas.

As embalagens com as sementes foram mantidas em local arejado, sob condições ambientais, para que os testes de germinação e vigor fossem realizados logo depois da secagem e depois de 180 dias de armazenamento (latente). Para acompanhar a temperatura e a umidade relativa do local durante o período de armazenagem, utilizou-se um aparelho termoigrógrafo instalado próximo às embalagens que fornecia informações sobre as condições de armazenamento.

As subamostras contendo sementes destinadas à avaliação da qualidade fisiológica, a ser realizada depois do período de armazenagem, foram submetidas à fumigação para garantir sua qualidade fitossanitária. Para isto, utilizou-se fosfeto de alumínio (AIP) na dosagem de cinco comprimidos de 0,60 g / m³, por um período de exposição de 72 horas.

3.2. Teste padrão de germinação (TPG)

O teste de germinação foi realizado logo depois da secagem e depois de armazenagem por 180 dias, conforme critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL,1992). Para cada repetição dos tratamentos de secagem, foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes.

Tendo como substrato rolo de papel tipo "germitest", umedecido com água desmineralizada, as sementes foram colocadas para germinar à temperatura em torno de 25°C, em um germinador tipo mangelsdorf.

Anteriormente a cada teste, as sementes foram tratadas com fungicida (Captan), na proporção de 200 g para 100 kg de sementes.

A avaliação do teste de germinação foi realizada aos cinco e nove dias depois da instalação do teste. Na primeira avaliação, foram contadas e eliminadas as plântulas normais e as sementes mortas ou infectadas que pudessem contaminar as demais. No nono dia foi realizada a contagem final de plântulas normais, plântulas anormais e sementes mortas ou deterioradas sendo o resultado de germinação expresso pela porcentagem média de plântulas normais, obtida nas duas avaliações.

3.3. Primeira Contagem do TPG

A primeira contagem de plântulas normais do teste padrão de germinação permite avaliar a energia germinativa das sementes. Este resultado é utilizado como indicativo do vigor, pois um maior número de plântulas normais obtidas por ocasião da primeira contagem do TPG significa que as sementes avaliadas germinam mais rapidamente.

A avaliação de primeira contagem foi realizada aos cinco dias depois da montagem do teste de germinação, quando foram abertos os rolos de papel e as plântulas normais foram computadas e eliminadas do teste juntamente com as sementes mortas ou infectadas, conforme descrito anteriormente. Os resultados foram expressos em porcentagem e utilizados como índice de vigor.

3.4. Teste de tetrazólio

Para o teste de tetrazólio foram utilizadas 100 sementes e quatro repetições de 25 sementes para cada repetição dos tratamentos de secagem.

As sementes pré-embebidas foram embaladas em papel toalha umedecido e mantidas à temperatura de aproximadamente 25°C durante 16 horas. Para evitar a perda de umidade, as embalagens foram colocadas em saco plástico e permaneceram em um germinador durante todo o período de pré-acondicionamento.

Após o período de pré-acondicionamento, as sementes foram submersas em solução de tetrazólio (2, 3, 5 trifenil cloreto de tetrazólio) à concentração de 0,075 % e conservadas em estufa à temperatura de aproximadamente 35°C durante cerca de 180 minutos, segundo metodologia descrita por KRZYZANOWSKI et alii (1991) e FRANÇA NETO et alii (1988) .

O potencial de vigor foi determinado pelas sementes pertencentes às classes de 1 a 3.

3.5. Teste de condutividade elétrica

O teste de condutividade elétrica foi conduzido de acordo com o sistema de copo ou massa (bulk system), conforme metodologia recomendada por KRZYZANOWSKI et alii (1991) e VIEIRA (1994).

Para realização do teste, utilizou-se um medidor de condutividade elétrica marca Digimed e modelo CD-21, dotado de ajuste para compensação da temperatura e eletrodo com constante da célula de 1cm⁻¹. Antes de iniciar as medições, o aparelho foi calibrado com uma solução padrão de KCl de condutividade elétrica conhecida, à temperatura de 25°C. Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes para cada repetição dos tratamentos de secagem.

As sementes foram pesadas em balança com precisão de 0,01g e colocadas em copos plásticos (200 ml), adicionando-se 75 ml de água deionizada em cada recipiente. Em seguida os copos foram colocados em um germinador, previamente regulado a 25°C, onde permaneceram por 24 horas.

Decorrido esse período, os recipientes foram retirados e imediatamente foram efetuadas as medições, depois de agitar suavemente as sementes.

Antes e depois de cada determinação, o eletrodo foi repetidamente lavado com água deionizada e logo em seguida seco com papel-toalha.

Para repetição dos testes, a condutividade elétrica foi obtida dividindo-se o valor da condutividade ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$), fornecido pelo aparelho, pela massa (g) das 50 sementes, sendo o valor resultante expresso em $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$.

O resultado final foi obtido pela média dos valores determinados em cada repetição.

3.6. Teste de suscetibilidade de sementes à quebra

O teste de suscetibilidade à quebra de sementes de feijão foi realizado logo depois da secagem, utilizando-se o equipamento "Stein Breakage Tester", modelo CK, segundo metodologia descrita por STEPHENS e FOSTER (1976) e por GUNASEKARAN e PAULSEN (1985).

Para cada tratamento de secagem, foram utilizadas três repetições com aproximadamente 100 g de sementes peneiradas em peneira de crivos oblongos (10 x 3/4").

O aparelho operava durante um minuto e, logo em seguida, o material era retirado e novamente peneirado.

A fração de sementes retida na peneira foi pesada e a diferença de peso calculada e transformada em porcentagem.

3.7. Análise estatística dos dados

Para ajustar o modelo proposto por Page aos dados experimentais de secagem (equação 3), foi realizada análise de regressão não linear empregando-se o método Gauss-Newton, contido no Sistema de Análise Estatística e Genética (SAEG). Estimou-se os valores dos parâmetros "k" e "n"

em função das variáveis temperatura do ar de secagem e umidade inicial do produto.

Para relacionar "k" e "n" às variáveis temperatura e umidade inicial, optou-se pelo modelo estatístico apresentado a seguir, ou

$$Y_{ij} = \exp (\beta_0 + \beta_1 T_i + \beta_2 T_i^2 + \beta_3 UI_j + \beta_4 UI_j^2 + \beta_5 (T UI)_{ij} + E_{ij}) \quad (\text{eq. 5})$$

em que

Y_{ij} = representa os valores observados de "k" e "n", para o modelo de Page (eq. 3), na temperatura i e teor de umidade inicial j ;

β_0 = constante da regressão;

β_z = coeficientes da regressão $z = 1, 2, 3, 4$ e 5 ;

T_i = variável temperatura do ar de secagem, para os níveis 35, 40, 45 e 50°C;

UI_j = variável teor de umidade inicial, para os níveis 0,206 b.s. (17,1 % b.u.); 0,342 b.s. (25,5 % b.u.) e 0,595 b.s. (37,3 % b.u.);

E_{ij} = erro aleatório.

A partir deste modelo foram testados outros modelos, eliminando-se o efeito quadrático (T^2 ou U^2), a interação ($T.UI$) e um dos fatores (T ou UI).

O grau de ajuste do modelo aos dados experimentais baseou-se na magnitude e significância do coeficiente de determinação ajustado, significância dos coeficientes de regressão, magnitude do coeficiente de variação e na verificação de falta de ajuste do modelo estatístico.

Para o estudo sobre o comportamento dos dados experimentais de germinação, vigor e suscetibilidade à quebra em função das variáveis independentes temperatura, umidade inicial e umidade final, foram ajustados diversos modelos de regressão. Nenhum dos modelos testados ajustou-se satisfatoriamente aos dados obtidos. Optou-se, então, pela apresentação descritiva dos resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Curvas de secagem de sementes de feijão

No Quadro 1, a análise de variância dos dados indicou efeitos significativos tanto da temperatura do ar de secagem e teor de umidade inicial do produto quanto da interação entre estas variáveis sobre os parâmetros "k" e "n" da equação proposta por Page (equação 3).

Quadro 1. Resumo da análise de variância dos parâmetros "k" e "n" da equação de Page, em função da temperatura de secagem e teor de umidade inicial

Causas da Variação	GL	QM	
		k	n
Temperatura	3	0,00880 **	0,00223 **
Umidade Inicial	2	0,12723 **	0,00982 **
Temperatura x Umidade Inicial	6	0,00059 **	0,00011 **
Resíduo	24	0,00003 **	0,00002 **
CV (%)		1,50	0,71

** Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

CV Coeficiente de Variação.

Resultados semelhantes foram obtidos por WHITE et alii (1981) e SOARES (1986) que, estudando a secagem de soja, verificaram que o parâmetro "k" também variou com a temperatura de secagem e o teor de umidade inicial. Os mesmos autores verificaram ainda que "n" não foi significativamente afetado pelo teor de umidade inicial, fato também constatado por OVERHULTS et alii (1973). Comportamento diferente para o parâmetro "n" foi observado por RAMOS et alii (1994) que, realizando secagem de trigo, verificaram que "n" era dependente do teor de umidade inicial, conforme observado também neste trabalho. Possivelmente, as diferenças encontradas podem ser explicadas em decorrência dos níveis de umidade inicial estudados por WHITE et alii (1981), SOARES (1986) e OVERHULTS et alii (1973) e por tratar-se de produtos de espécies diferentes (BROOKER et alii, 1992).

A equação 5 foi ajustada aos dados experimentais de secagem, e um modelo adaptado à equação de Page foi determinado visando melhor representação da secagem de sementes de feijão em camada delgada até atingir o teor de umidade final de 11% b.u.

O Quadro 2 apresenta os valores estimados dos coeficientes da equação 5, para os parâmetros "k" e "n". Os modelos estimados são da forma

$$\hat{k} = \exp (-2,7474 + 0,00015.T + 0,00014.T^2 + 0,07838.UI - 0,00089.UI^2)$$

(eq. 6)

$$\hat{n} = \exp (0,34429 - 0,00605.T - 0,04876.UI + 0,00083.UI^2 + 0,00009.UI.T)$$

(eq. 7)

Os valores médios de razão de umidade, observados experimentalmente e estimados em função do tempo de secagem, para as temperaturas de secagem de 35, 40, 45 e 50°C e teores de umidade inicial de 17,1; 25,5 e 37,3 % b.u., são apresentados na Figuras 2 a 4.

Quadro 2. Estimativa dos coeficientes da equação 5 para obtenção dos parâmetros $\hat{k}$ e $\hat{n}$ da equação de Page

Coeficiente Estimado	Parâmetro $\hat{k}$		Parâmetro $\hat{n}$	
	Valor do Estimador	Nível de Significância	Valor do Estimador	Nível de Significância
β_0	-2,74740	-	0,34429	-
β_1	0,00015	n.s.	-0,00605	**
β_2	0,00014	**	-	-
β_3	0,07838	**	-0,04876	**
β_4	-0,00089	**	0,00083	**
β_5	-	**	0,00009	**
R^2	0,9761		0,9717	

** Significativo em nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

n.s. Não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

R^2 Coeficiente de determinação.

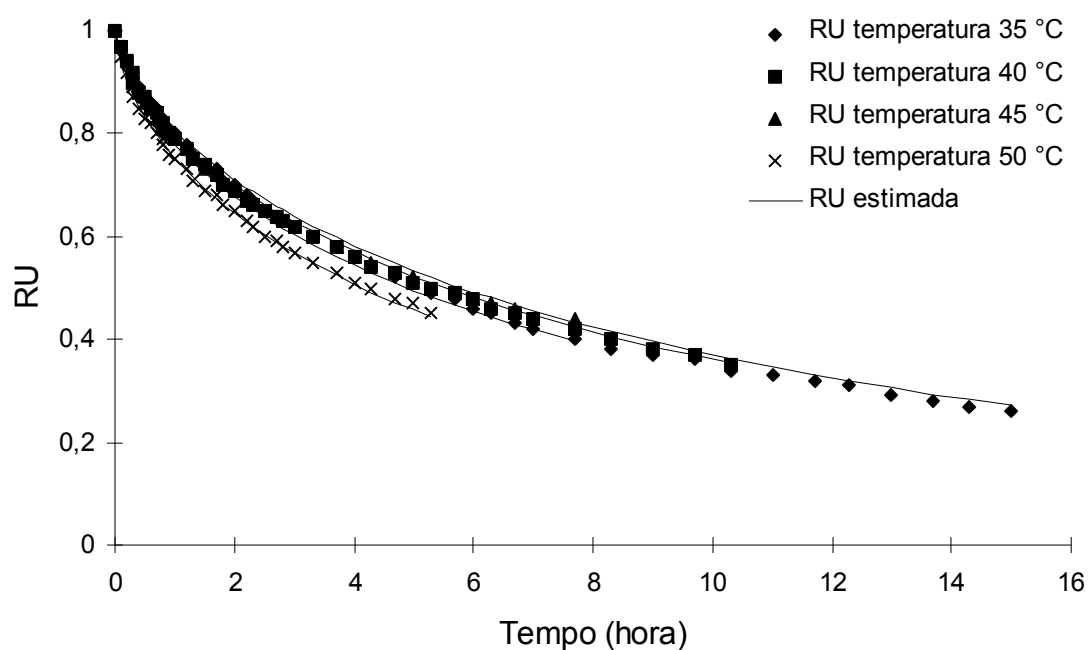


Figura 2. Curvas observadas e estimadas de razão de umidade das sementes de feijão, para os diferentes níveis de temperatura de secagem e teor de umidade inicial de 17,1% b.u.

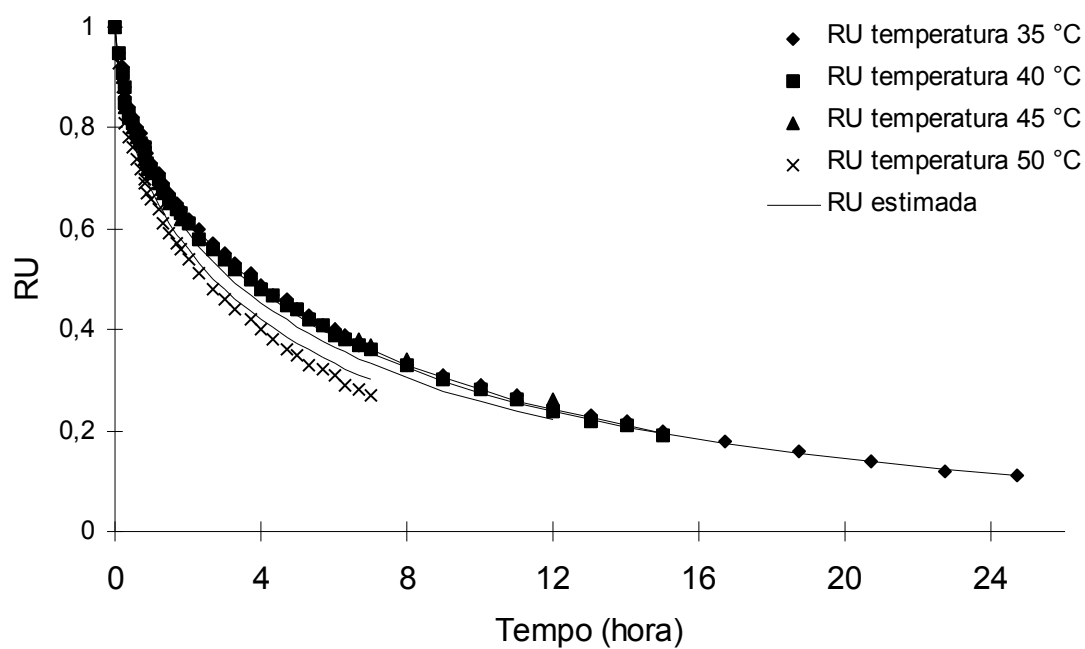


Figura 3. Curvas observadas e estimadas de razão de umidade das sementes de feijão, para os diferentes níveis de temperatura de secagem e teor de umidade inicial de 25,5% b.u.

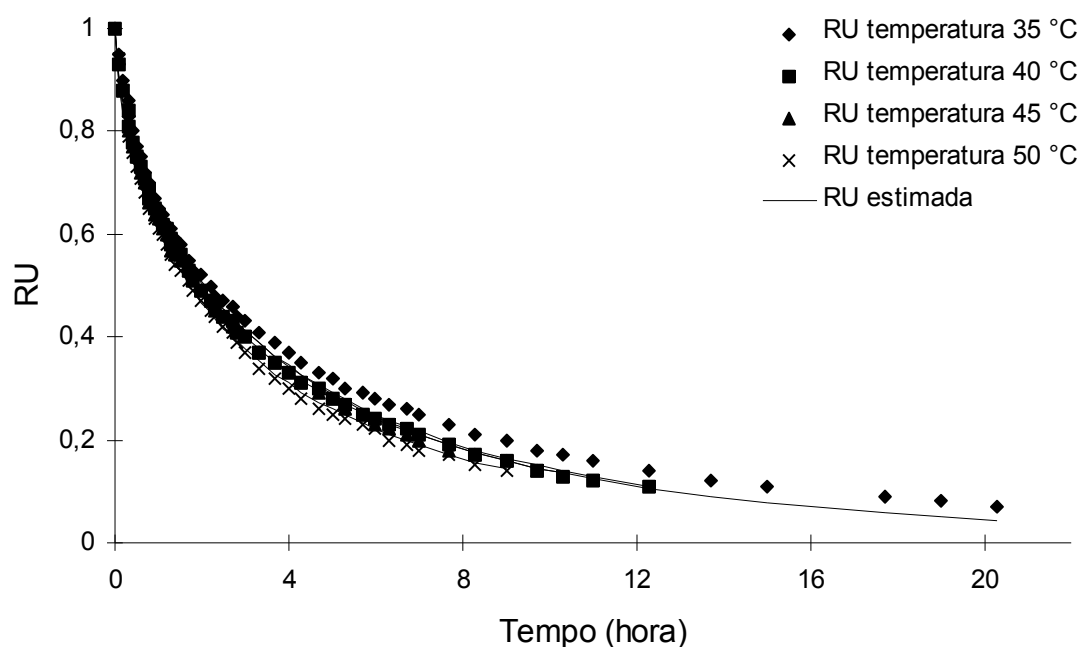


Figura 4. Curvas observadas e estimadas de razão de umidade das sementes de feijão, para os diferentes níveis de temperatura de secagem e teor de umidade inicial de 37,3% b.u.

De acordo com os resultados obtidos verifica-se que, para as condições em que este trabalho foi realizado, os modelos ajustados explicam satisfatoriamente a secagem de sementes de feijão em camada delgada (Figuras 2 a 4). Observou-se ainda alta taxa de secagem nos testes realizados com sementes que apresentavam teor de umidade inicial de 37,3 % b.u., principalmente nas primeiras horas de secagem, quando comparados aos testes de secagem feitos com sementes de feijão cujo teor de umidade inicial era 17,1 e 25,5% b.u.

4.2. Qualidade Inicial das sementes

Para conhecer as características iniciais das sementes, uma amostra para cada teor de umidade inicial foi retirada antes do início dos testes de secagem, sendo avaliada a germinação e o potencial de vigor dessas sementes pelo teste padrão de germinação (TPG), primeira contagem do TPG e pelos testes de tetrazólio e condutividade elétrica.

Os resultados desses testes são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3. Resultados médios de germinação e vigor das sementes de feijão, antes dos testes de secagem, avaliados pelo TPG, pela primeira contagem do TPG, pelos testes de tetrazólio e condutividade elétrica para os diferentes teores de umidade inicial

Teor de Umidade Inicial (% b.u.)	Germinação (%)	1ª Contagem (%)	Tetrazólio (%)	Cond. Elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$)
17,1	97	96	99	51,82
25,5	97	90	100	40,03
37,3	98	95	99	41,58

4.3. Efeitos da temperatura, umidade inicial e umidade final sobre a germinação, logo depois da secagem (efeito imediato)

Durante os primeiros instantes de secagem nas sementes com teor de umidade inicial de 37,3% b.u. foram observadas rachaduras nos tegumentos e rupturas nos cotilédones. Entretanto, essas rachaduras apresentaram menor intensidade para as temperaturas mais baixas. Possivelmente, tal fato é devido a tensões às quais as camadas mais superficiais das sementes são submetidas uma vez que, no início da secagem, as altas temperaturas e altos teores de umidade inicial proporcionam taxas de secagem mais elevadas nessas camadas mais externas.

As Figuras 5 e 6 apresentam os resultados de germinação de sementes de feijão, para os três teores iniciais de umidade, em função da temperatura do ar de secagem logo depois da secagem, para os teores de umidade final 11 e 13% b.u., respectivamente.

Em geral, observa-se que a germinação diminui com o aumento da temperatura do ar de secagem e do teor de umidade inicial das sementes, o que também ocorre para o teor de umidade final menor (11% b.u.), para as condições em que o trabalho foi realizado, concordando com afirmações descritas por alguns autores (CARVALHO e NAKAGAWA, 1988).

Observa-se ainda que a diminuição dos valores de germinação com o aumento da temperatura torna-se mais acentuada para as sementes com teor de umidade inicial de 37,3% b.u. Também ocorre maior intensidade dos efeitos da secagem sobre sementes com teor de umidade mais alto (37,3% b.u.), submetidas à temperatura mais elevada (50°C).

Os valores médios de germinação para teores de umidade inicial de 17,1 e 25,5% b.u. e para teores de umidade final de 11 e 13% b.u., para os testes realizados logo depois da secagem e para todos os níveis de temperatura variaram entre 83 e 99%. Estes valores são superiores ao padrão mínimo de germinação (80%) estabelecido pelo Ministério da Agricultura para o ano agrícola 95/96 (APSEMG,1995), para a comercialização de sementes de feijão.

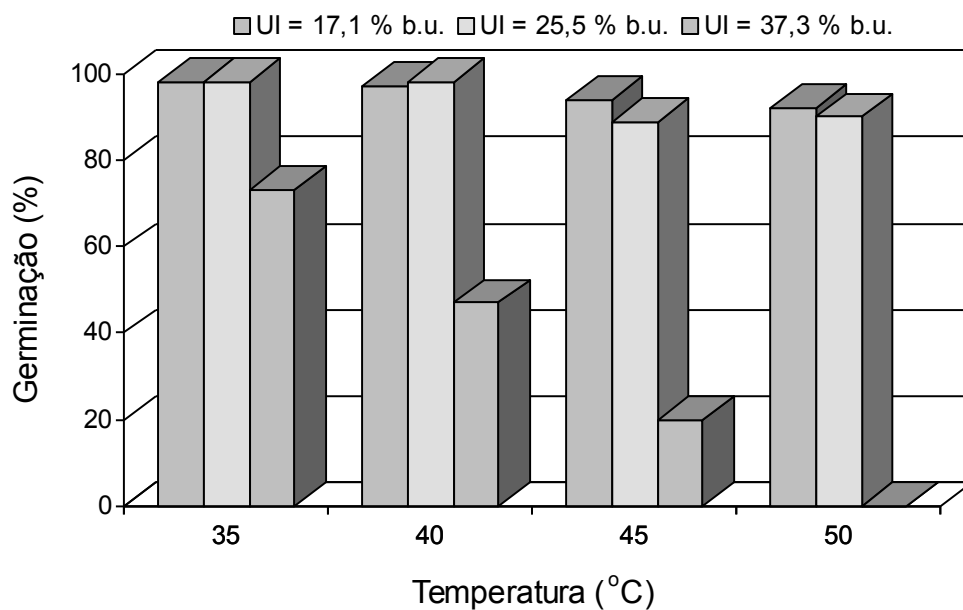


Figura 5. Resultados de germinação de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 11% b.u.

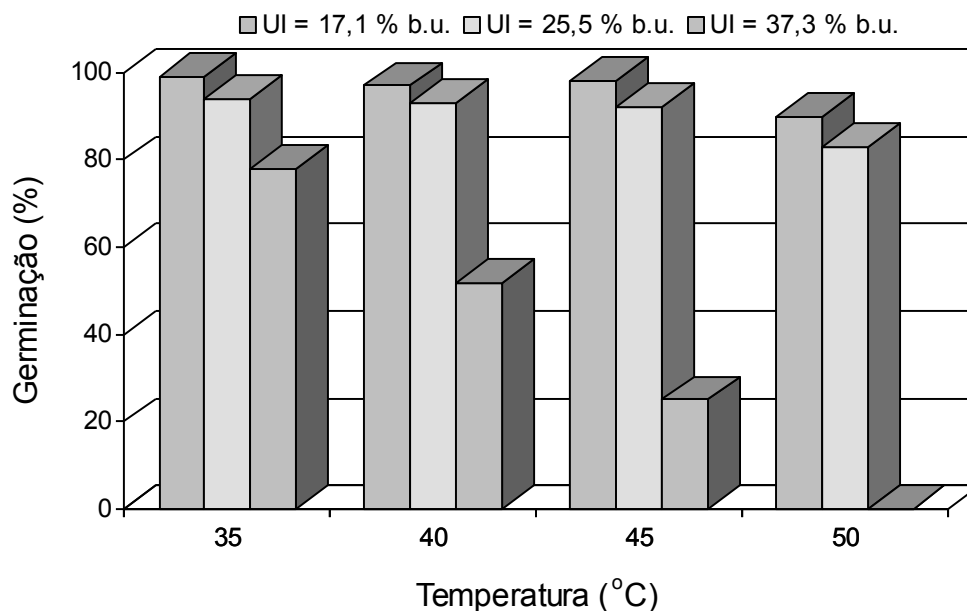


Figura 6. Resultados de germinação de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 13% b.u.

4.4. Efeitos da temperatura, umidade inicial e umidade final sobre o vigor, logo depois da secagem (efeito imediato)

As Figuras 7 a 12 apresentam os resultados do comportamento do vigor das sementes de feijão, avaliado pela primeira contagem do teste padrão de germinação e pelos testes de tetrazólio e de condutividade elétrica, para os teores de umidade inicial de 17,1; 25,5 e 37,3% b.u. e teores de umidade final de 11 e 13% b.u., em função da temperatura do ar de secagem.

Em geral, o vigor das sementes apresenta comportamento semelhante àquele observado para germinação, ou seja, as sementes com teor de umidade mais alto foram mais afetadas pelo aumento da temperatura do ar de secagem e umidade final de 11% b.u. Observa-se também uma considerável diminuição do vigor para sementes com teor de umidade inicial de 37,3% b.u., principalmente para temperaturas de secagem superiores a 35°C.

Pelos resultados dos testes de primeira contagem e tetrazólio, observa-se que sementes com teores de umidade inicial de 17,1 e 25,5% b.u. apresentam uma variação menos pronunciada nos valores de vigor que, em média, são superiores a 80%, para a faixa de temperatura de secagem estudada (Figuras 7 a 10).

Conforme Figuras 11 e 12, o teste de condutividade elétrica demonstra os acentuados efeitos da secagem sobre sementes com teor de umidade inicial mais elevado, para todos os níveis de temperatura. Segundo VIEIRA (1994), o processo de redução e perda de vigor está associado à desorganização ou perda de integridade das membranas celulares, fato este diretamente relacionado ao aumento da quantidade de lixiviados liberados, evidenciando relação inversa entre a perda de lixiviados e o vigor das sementes.

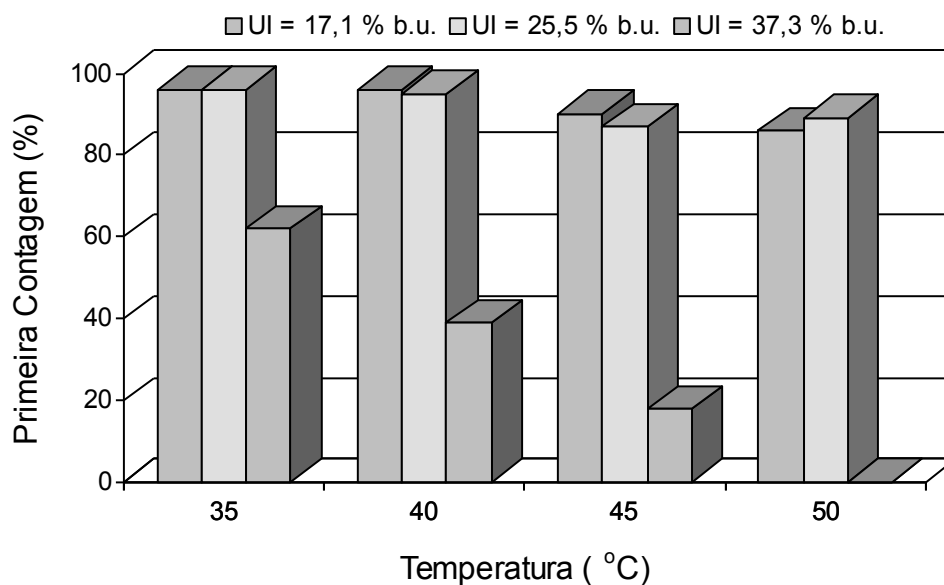


Figura 7. Resultados médios da primeira contagem do teste padrão de germinação de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 11% b.u.

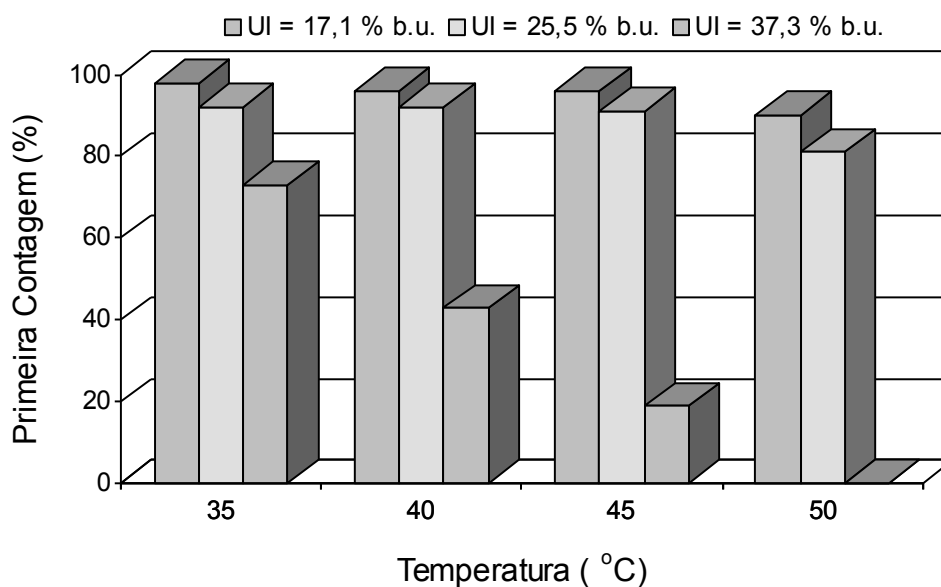


Figura 8. Resultados médios da primeira contagem do teste padrão de germinação de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 13% b.u.

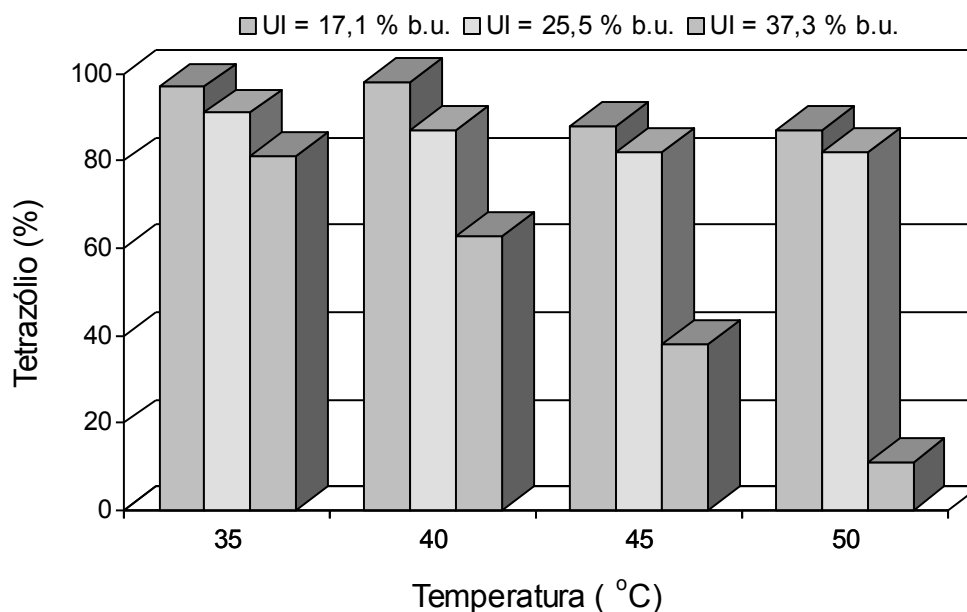


Figura 9. Resultados médios do teste de tetrazólio de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 11% b.u.

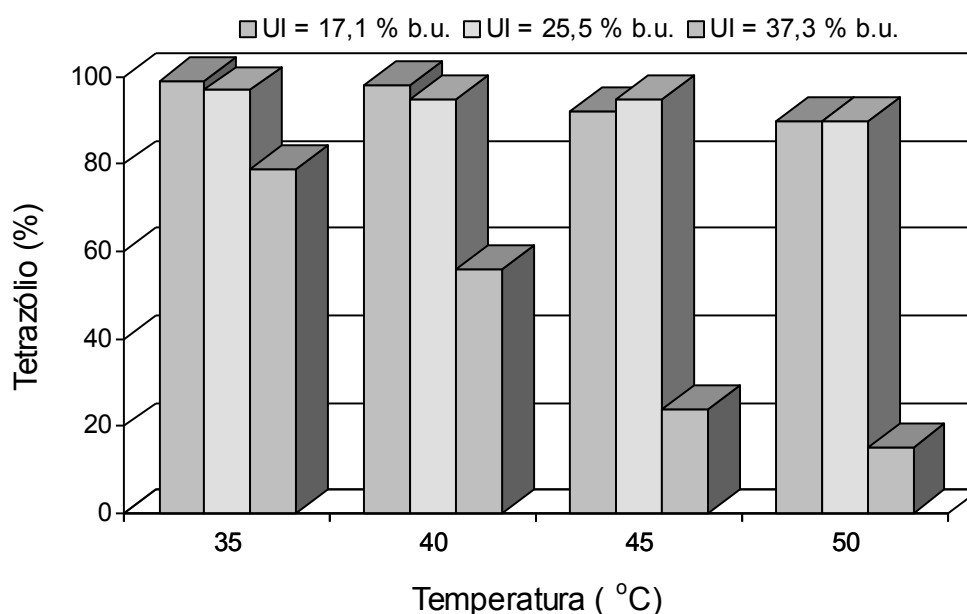


Figura 10. Resultados médios do teste de tetrazólio de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 13% b.u.

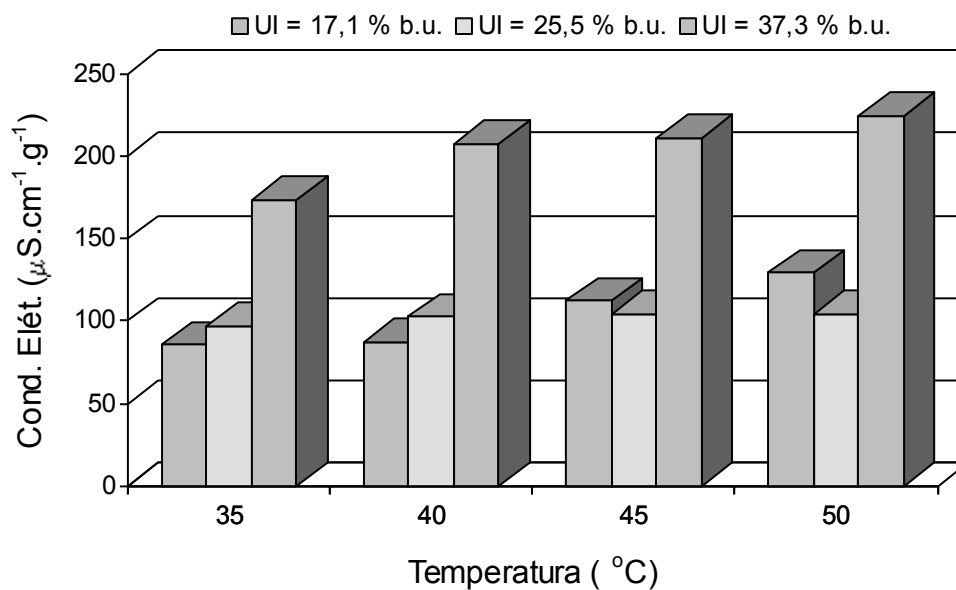


Figura 11. Resultados médios do teste de condutividade elétrica de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 11% b.u.

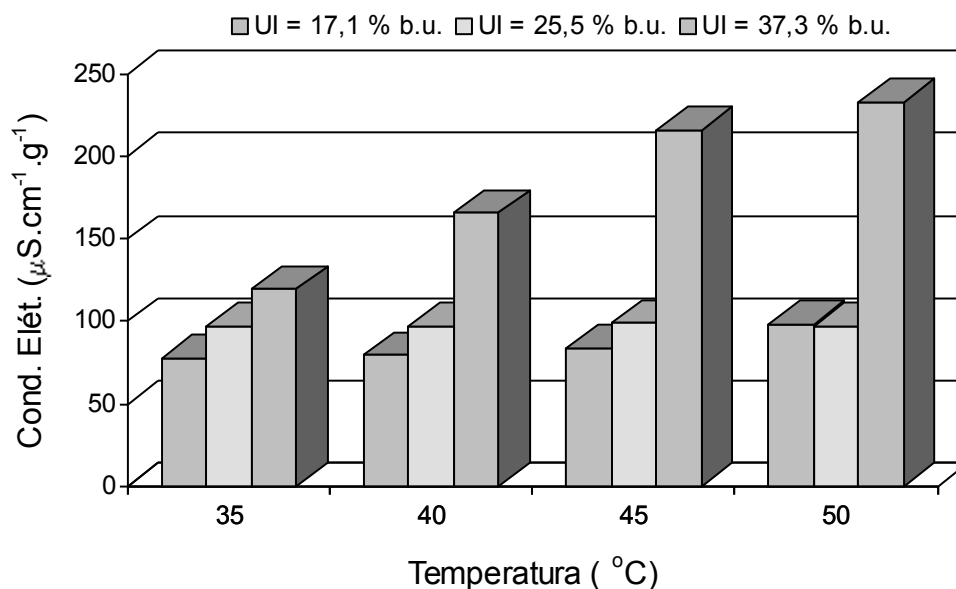


Figura 12. Resultados médios do teste de condutividade elétrica de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 13% b.u.

4.5. Efeitos da temperatura, umidade inicial e umidade final sobre a germinação, 180 dias após a secagem (efeito latente)

As Figuras 13 e 14 apresentam a variação dos resultados de germinação em função da temperatura de secagem, depois de 180 dias, para os teores de umidade final de 11 e 13% b.u. e teores de umidade inicial de 17,1; 25,5 e 37,3% b.u., respectivamente.

Nas Figuras 13 e 14, em geral, verifica-se efeito prejudicial da secagem sobre a germinação, após o período de armazenagem, para sementes com teor de umidade inicial de 25,5 e 37,3% b.u., exceto as sementes com umidade inicial de 25,5% b.u. secas à temperatura de 35°C até atingir o teor de umidade final de 13% b.u., as quais apresentaram germinação acima de 80%. De acordo com os resultados, há maior sensibilidade das sementes em relação à germinação para teores de umidade mais altos, quando a temperatura de secagem eleva-se. Observa-se ainda que sementes com umidade inicial de 17,1% b.u. apresentam qualidade superior às demais, e mantêm índices de germinação superiores a 80%, para todos os níveis de temperatura.

Comparando a germinação das sementes logo depois da secagem (Figuras 5 e 6) com a germinação daquelas armazenadas por 180 dias (Figuras 13 e 14), observa-se ocorrência de decréscimo do poder germinativo das sementes durante o período de armazenamento. Em geral, os efeitos das condições de secagem e do teor de umidade inicial sobre a germinação das sementes são mais intensos depois do armazenamento por 180 dias em condições ambientais. Resultados parecidos foram encontrados por CLASER (1995) ao constatar que a germinação de sementes de soja diminui com o aumento do período de armazenagem.

No Quadro 4 observa-se que, ao final do período de armazenagem por 180 dias, as umidades médias das sementes de feijão mantiveram-se próximas aos níveis de umidade inicial observados logo depois da secagem.

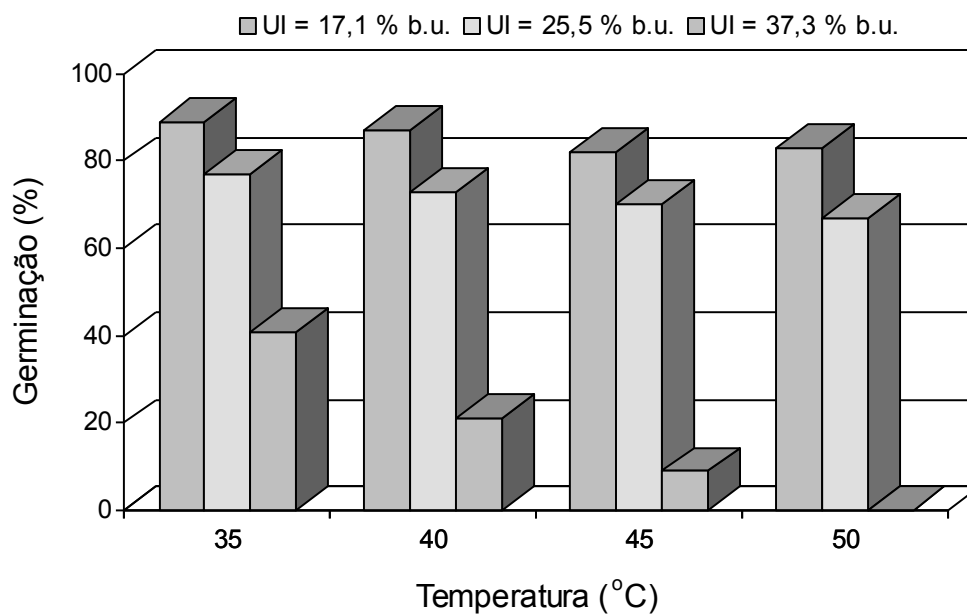


Figura 13. Resultados de germinação de sementes de feijão 180 dias depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 11% b.u.

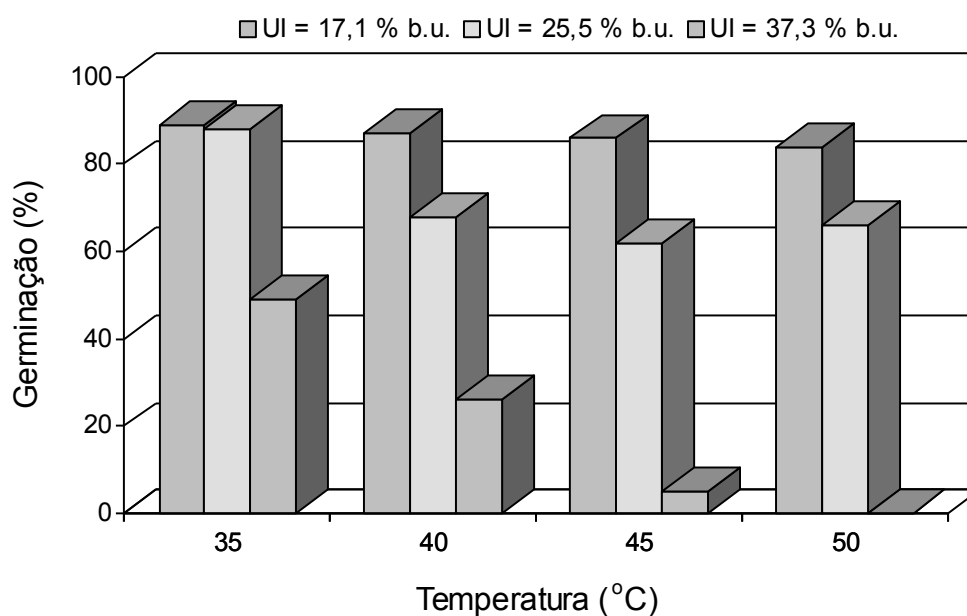


Figura 14. Resultados de germinação de sementes de feijão 180 dias depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 13% b.u.

Quadro 4. Teor médio de umidade das sementes de feijão após armazenagem por 180 dias

Temperatura do ar de secagem (°C)	Umidade inicial das sementes (% b.u.)	Umidade final das sementes (% b.u.)	Umidade das sementes depois da armazenagem (% b.u.)
35	17,1	11	11,3
	17,1	13	13,7
	25,5	11	11,8
	25,5	13	12,7
	37,3	11	10,2
	37,3	13	12,7
40	17,1	11	10,7
	17,1	13	13,0
	25,5	11	10,2
	25,5	13	12,5
	37,3	11	10,8
	37,3	13	12,3
45	17,1	11	11,8
	17,1	13	13,6
	25,5	11	11,0
	25,5	13	12,9
	37,3	11	11,6
	37,3	13	13,2
50	17,1	11	11,8
	17,1	13	12,5
	25,5	11	11,8
	25,5	13	13,1
	37,3	11	10,2
	37,3	13	13,2

4.6. Efeitos da temperatura, umidade inicial e umidade final sobre o vigor, 180 dias após a secagem (efeito latente)

As Figuras 15 a 20 apresentam o comportamento dos resultados do potencial de vigor das sementes de feijão em função da temperatura de secagem, para os teores de umidade inicial de 17,1; 25,5 e 37,3% b.u. e para teores de umidade final de 11 e 13% b.u., respectivamente.

Observa-se que sementes com teor de umidade inicial mais alto (37,3% b.u.) foram mais afetadas pelas temperaturas de secagem, para todos os níveis estudados. De acordo com as Figuras 15 a 18 sementes com teor de umidade inicial de 25,5% b.u., submetidas à secagem em temperatura de 35°C, apresentaram resultados de vigor próximos ou superiores àqueles encontrados para sementes com 17,1% b.u. de umidade inicial secas à mesma temperatura, mesmo depois da armazenagem por 180 dias.

Nos testes realizados, em geral, observou-se que durante o armazenamento o vigor diminui à medida que a temperatura do ar de secagem e o teor de umidade inicial das sementes aumentam, e o teor de umidade final diminui, levando-se em consideração as condições em que o trabalho foi realizado. Os melhores resultados foram obtidos para sementes com umidade inicial de 17,1% b.u. enquanto, para maioria dos casos, ocorreu redução do potencial de vigor das sementes de feijão depois da armazenagem por seis meses.

4.7. Efeitos da temperatura, umidade inicial e umidade final sobre a suscetibilidade à quebra, logo depois da secagem

Nas Figuras 21 e 22, de acordo com o comportamento das sementes, em geral, observa-se aumento da suscetibilidade à quebra para temperaturas de secagem mais elevadas e teor de umidade final menor, o que foi também verificado por diversos autores (GUNASEKARAN e PAULSEN, 1985; ROJANASAROJ et alii, 1976; OVERHULTS et alii, 1973).

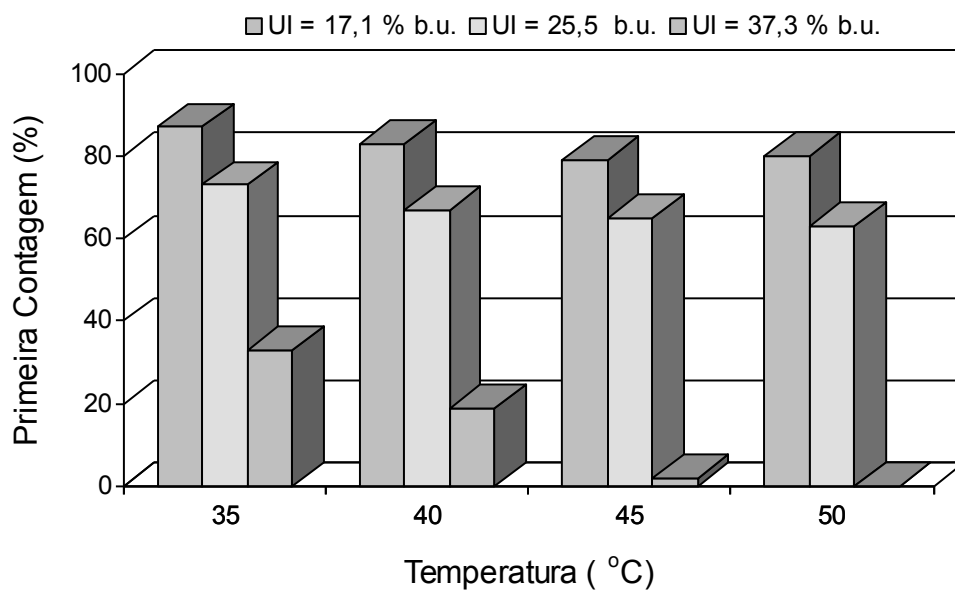


Figura 15. Resultados médios da primeira contagem do teste padrão de germinação de sementes de feijão aos 180 dias após a secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 11% b.u.

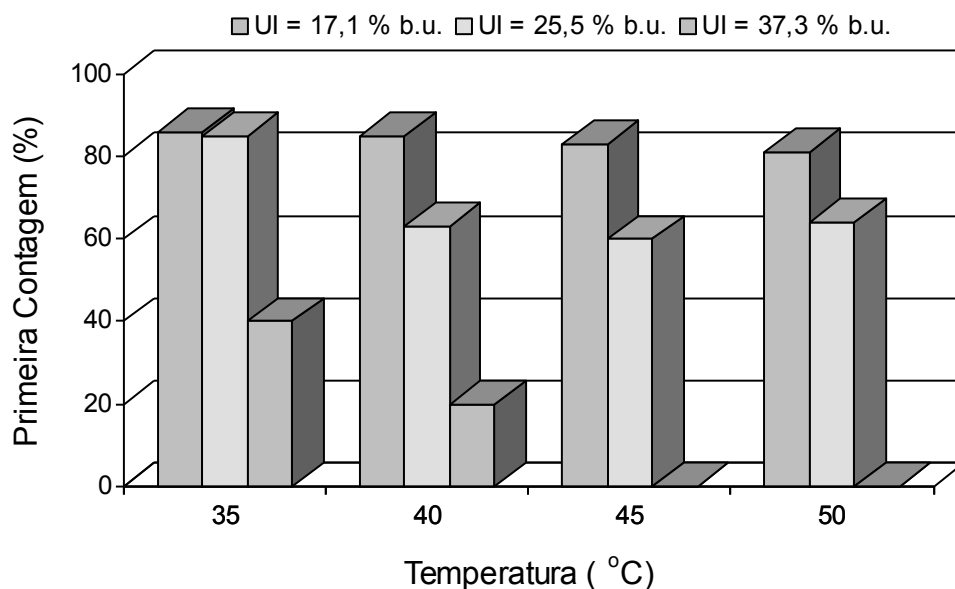


Figura 16. Resultados médios da primeira contagem do teste padrão de germinação de sementes de feijão aos 180 dias após a secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 13% b.u.

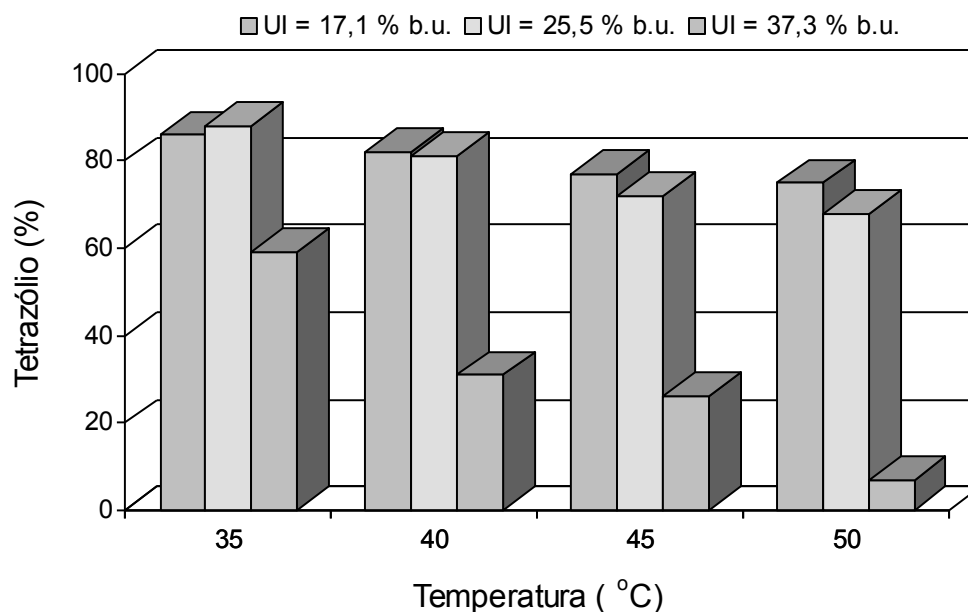


Figura 17. Resultados médios do teste de tetrazólio de sementes de feijão aos 180 dias após a secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 11% b.u.

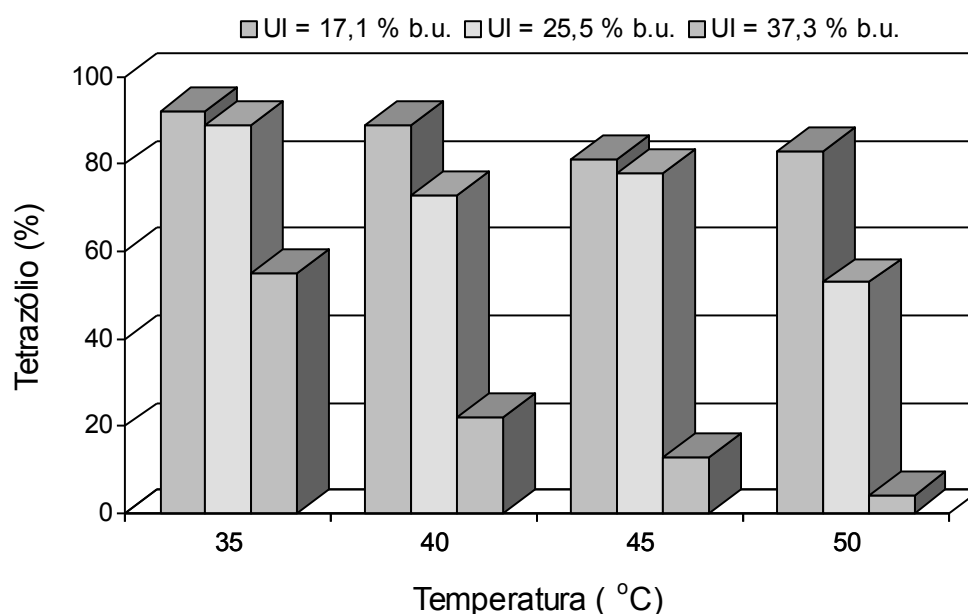


Figura 18. Resultados médios do teste de tetrazólio de sementes de feijão aos 180 dias após a secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 13% b.u.

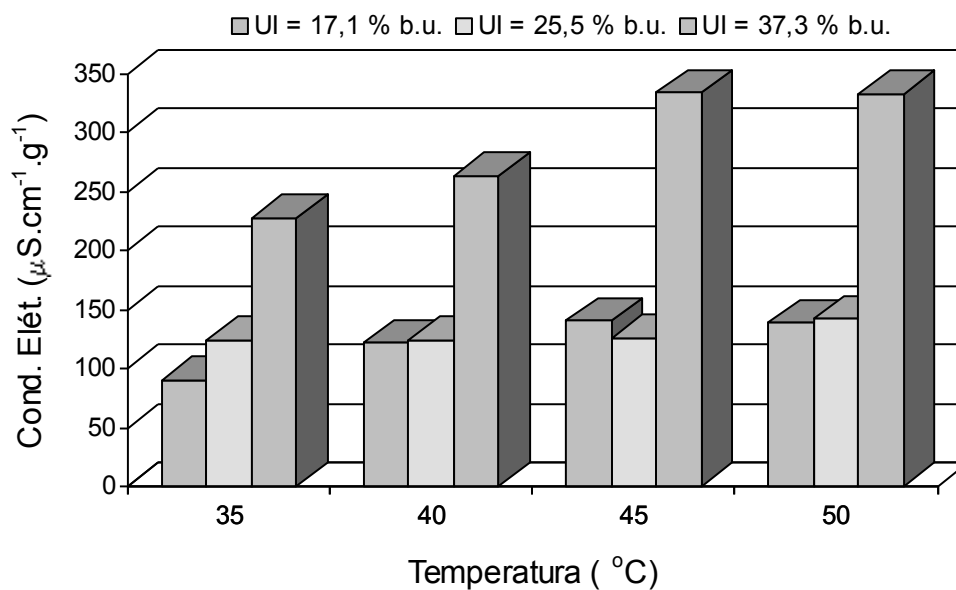


Figura 19. Resultados médios do teste de condutividade elétrica de sementes de feijão aos 180 dias após a secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 11% b.u.

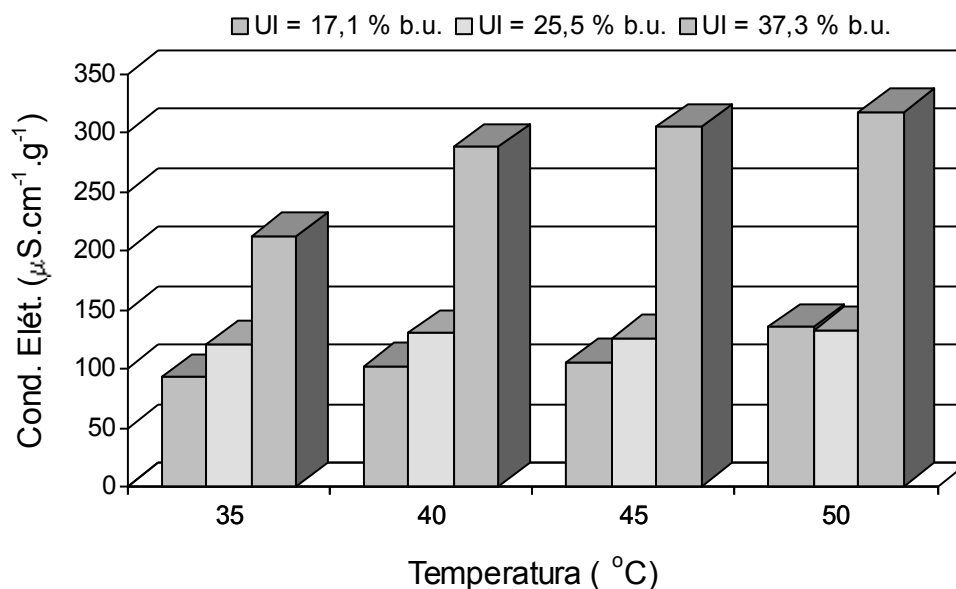


Figura 20. Resultados médios do teste de condutividade elétrica de sementes de feijão aos 180 dias após a secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 13% b.u.

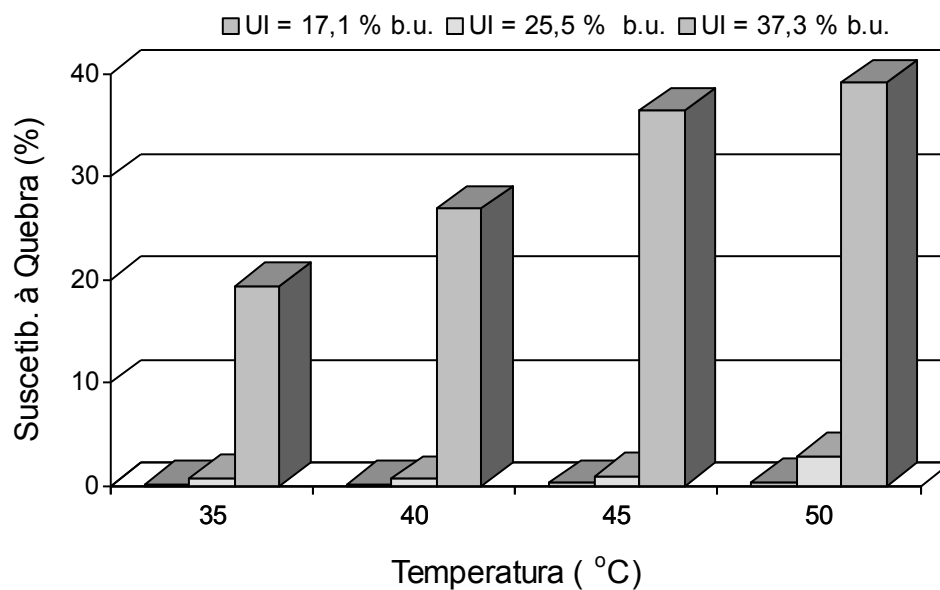


Figura 21. Resultados médios de suscetibilidade à quebra de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 11% b.u.

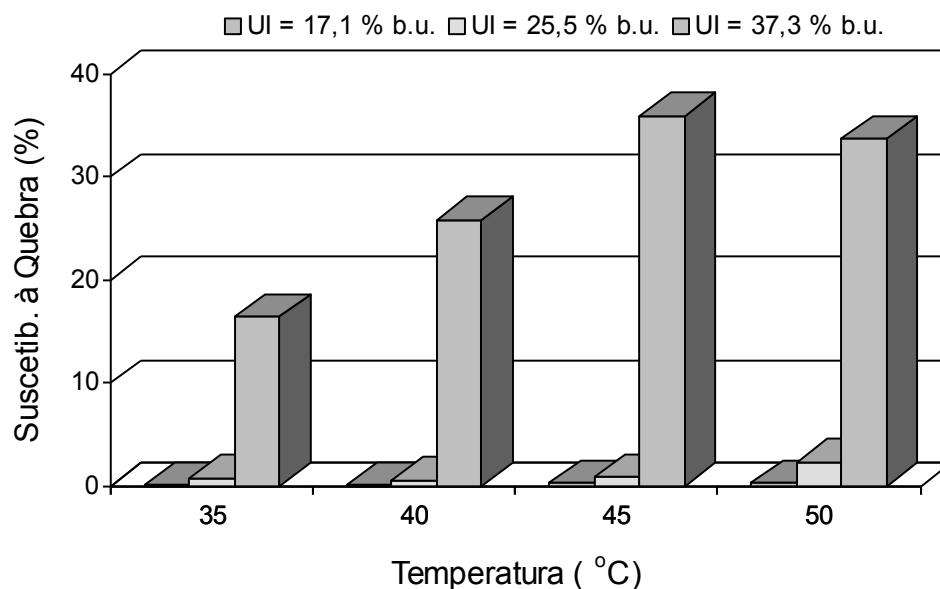


Figura 22. Resultados médios de suscetibilidade à quebra de sementes de feijão logo depois da secagem em diferentes temperaturas, para os diferentes níveis de umidade inicial (UI) e teor de umidade final de secagem de 13% b.u.

Nas Figuras 21 e 22 verifica-se, para sementes com umidade inicial de 37,3% b.u., um efeito expressivo das temperaturas de secagem sobre os resultados de suscetibilidade à quebra, quando comparado aos resultados obtidos para teores de umidade inicial de 17,1 e 25,5% b.u. Tal ocorrência pode ser devida à maior presença de trincamentos internos nas sementes com umidade inicial de 37,3% b.u. o que, segundo HOKI e PICKETT (1973) e GUNASEKARAN e PAULSEN (1985), aumenta a suscetibilidade de grãos e sementes à quebra.

OVERHULTS et alii (1973) e WHITE et alii (1980) observaram que rachaduras no tegumento e cotilédones de sementes de soja, submetidos à secagem, podem estar relacionadas a um elevado teor de umidade inicial e alta taxa de remoção de água das sementes.

Finalmente, levando-se em conta os resultados de qualidade obtidos em função da umidade inicial do produto e considerando que o retardamento da colheita pode reduzir a qualidade final das sementes, este trabalho indica a possibilidade de colheita de sementes imediatamente após a maturação fisiológica, desde que uma pré-secagem seja processada em condições naturais e protegidas de intempéries climáticas até atingir um teor de umidade adequado para que elas possam ser submetidas à secagem final com ar aquecido. Assim, será possível alcançar um nível de umidade indispensável ao armazenamento seguro e garantir a qualidade das sementes durante este período.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho foi realizado no laboratório de Pré-Processamento e Armazenagem de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola e no laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia, pertencentes ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Viçosa.

O trabalho objetivou estabelecer as curvas de secagem de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar "Ouro Negro 1992", plantio da seca, com ar de secagem às temperaturas de 35, 40, 45 e 50°C, para os teores de umidade inicial de 17,1; 25,5 e 37,3 % b.u. bem como estudar os efeitos destas condições sobre a germinação, o vigor e a suscetibilidade à quebra de sementes após serem submetidas à secagem até atingir teores de umidades finais de 11 e 13% b.u.

Colhidas e debulhadas manualmente, as sementes de feijão foram submetidas à secagem em camada delgada, em secador experimental com vazão de ar constante correspondente a $10 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$.

Para ajustar os dados experimentais de secagem ao modelo proposto por Page, eles foram submetidos à análise de regressão não linear. Observou-se efeitos significativos da temperatura de secagem e umidade inicial do produto sobre os parâmetros "k" e "n" da equação de Page.

Imediatamente e 180 dias depois da secagem, a germinação das sementes foi avaliada pelo teste padrão de germinação enquanto o potencial

de vigor foi avaliado pela primeira contagem do teste padrão de germinação, testes de tetrazólio e condutividade elétrica. Os efeitos do processo de secagem sobre a suscetibilidade à quebra das sementes de feijão logo depois da secagem, foram estudados utilizando-se o equipamento "Stein Breakage tester".

Com base na análise dos resultados obtidos e considerando as condições em que o presente estudo foi realizado, pode-se concluir que :

- O modelo de Page, com os parâmetros "k" e "n" ajustados exponencialmente em função da temperatura do ar de secagem e do teor de umidade inicial, descreve satisfatoriamente o processo de secagem de sementes de feijão;

- Sementes com elevado teor de umidade inicial (37,3% b.u.) apresentaram alta taxa de secagem, principalmente nas primeiras horas de secagem, para toda a faixa de temperatura estudada;

- A temperatura do ar de secagem e os teores de umidade inicial e final afetam a germinação e o vigor das sementes, logo depois da secagem e depois de 180 dias de armazenagem;

- As sementes com 17,1% b.u. de umidade inicial apresentaram os melhores resultados de germinação e vigor, logo depois da secagem e depois de 180 dias de armazenagem, independentemente da temperatura utilizada e do teor de umidade final alcançado;

- Os efeitos da secagem sobre a germinação e vigor das sementes de feijão com umidade inicial de 25,5% b.u. foi menos acentuado logo depois da secagem, quando comparados aos resultados encontrados após armazenagem por 180 dias, para a faixa de temperatura e umidade final estudada neste trabalho;

- Sementes de feijão com umidade inicial de 25,5% b.u., submetidas à secagem em temperatura de 35 °C até atingir umidade final de 13% b.u., apresentaram resultado de germinação superior a 80% e elevado vigor depois do período de armazenagem por 180 dias;

- Sementes com elevado teor de umidade inicial (37,3% b.u.) mostraram-se mais suscetíveis à perda da qualidade fisiológica logo depois da

secagem e após 180 dias de armazenagem, para todas as condições de secagem estudadas;

- A suscetibilidade à quebra aumenta com o aumento no teor de umidade inicial para secagem, independentemente da temperatura utilizada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, L. C. de, FORTES, M., PINHEIRO FILHO, J. B. et al. Transporte de umidade no interior de grãos de feijão-preto sob condições de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 5, n. 1, p.5-18,1980.
- ANUÁRIO ABRASEM. Brasília, DF: **Associação Brasileira dos Produtores de Sementes**, 1995. 225p.
- ARAÚJO, E. F., SILVA, R. F. da, SILVA, J. S. et al. Influência da secagem das vagens na germinação e no vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 6, n. 2, p.97-110, 1984.
- ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE SEMENTES DE MINAS GERAIS - APSEMG. **Padrões de sementes e de lavoura** : Estado de Minas Gerais, ano agrícola 1995/1996. Belo Horizonte : CESM - MG, IMA, 1995. 27p.
- AZEVEDO, J. T. de., LAUDARES FILHO, L. A. Produção de sementes de feijão de alta qualidade. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v. 8, n. 90, p.34-35, 1982.
- BACH, D. B. **Curvas de equilíbrio higroscópico de feijão-preto (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Viçosa, MG: UFV, 39p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade federal de Viçosa, 1979.
- BORÉM, F. M. **Efeito da temperatura e da umidade relativa do ar de secagem sobre a qualidade de sementes de milho (*Zea mays* L.), híbrido AG-303**. Viçosa, MG: UFV, 50p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, 1992.
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, DNDV/CLAV, 1992. 365p.

- BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W., HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: AVI, 1992. 450p.
- CARVALHO, N. M. de. **A secagem de sementes**. Jaboticabal: FUNEP, UNESP, 1994. 165p.
- CARVALHO, N. M. de., NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 3. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 424p.
- CHIN, C. S., JOHNSON, W. H. Kinetics of moisture movement in hygroscopic materials. **Transactions of the ASEA**, St. Joseph, v.12, n. 1, p.109-113, 1969.
- CLASER, C. A. **Efeito da temperatura e da umidade relativa do ar de secagem na germinação de sementes de soja (*Glycine max* L. Merrill)**. Viçosa, MG: UFV, 32p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- COPELAND, L. O. **Principles of seed science and technology**. Minneapolis: Burgess, 1976. 369p.
- DALPASQUALE, V. A., QUEIROZ, D. M. de., PEREIRA, J. A. M. et al. Curvas de secagem de amendoim, utilizando a teoria da difusão de líquido. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 9/10, n. 1/2, p.16-19, 1984/85.
- DEL GIUDICE, P. M., ALVARENGA, S. C., CONDÉ, A. R. Estudo comparativo de diferentes processos de armazenagem de feijão preto. **Experientiae**, Viçosa, MG, v. 13, n. 9, p.273-313, 1972.
- DELOUCHE, J. C., BASKIN, C. C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science & Technology**, Zurich, v. 1, n. 2, p.427-452, 1973.
- FRANÇA NETO, J.B., PEREIRA, L. A. G., COSTA, N. P. et al. **Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1988. 37p. (Documento, 32).
- GUNASEKARAN, S., PAULSEN, M. R. Breakage resistance of corn as a function of drying rates. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 6, p.2071-2076, 1985.
- GUSTAFSON, R. J., MAHMOUD, A. Y., HALL, G. E. Breakage susceptibility reduction by short-term tempering of corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 26, n. 3, p.918-922, 1983.
- HALL, C.W. **Drying and storage of agricultural crops**. Westport: AVI, 1980. 381p.

- HENDERSON, S. M., PERRY, R. L. **Agricultural process engineering**. Westport: AVI, 1979. 442p.
- HOKI, M., PICKETT, L. K. Factors affecting mechanical damage of navy beans. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 16, n. 6, p.1154-1157, 1973.
- KRZYŻANOWSKI, F. C., FRANÇA NETO, J. B., HENNING, A. A. Relatos dos testes de vigor disponíveis para as grandes culturas. **Informativo ABRATES**, Brasília, DF, v. 1, n. 2, p.15-50, 1991.
- LASSERAN, J. C. Princípios gerais de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 3, n. 3, p.17-46, 1978.
- MAEDA, J. A., ALMEIDA, L. D'A. de., NAGAI, V. Influência de cultivares, espaçamentos e localidades sobre a qualidade de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 4, n. 2, p.23-32, 1982.
- MIRANDA, G. V., VIEIRA, C., CRUZ, C. D. et al. Adaptabilidade e estabilidade de comportamento de cultivares de feijão em quatro municípios da zona da mata de Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 41, n. 232, p.591-609, 1993.
- MISRA, M. K., BROOKER, D. B. Thin-layer drying and rewetting equations for shelled yellow corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 23, n. 5, p.1254-1260, 1980.
- MOKSHIN, P. N., SILCHENKO, N. F. Drying of beans. **Agricultural and Horticultural Engineering Abstracts**, West Park, v. 13, n. 4, p.252-253, 1982.
- MORAES, M. L. B. de, HARA, T., SILVA, R. F. da et al. Efeitos da velocidade e da posição do impacto na germinação e no vigor de sementes de soja (cultivar UFV-2) com diferentes teores de umidade. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 5, n. 2, p.27-35, 1980.
- NETTO, A. G. A semente como fator de desenvolvimento agrícola. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 1, n. 1, p.16-23, 1979.
- NEUBERN, R. G., CARVALHO, N. M. Maturação de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Científica**, Jaboticabal, v. 4, n. 1, p.28-32, 1976.
- OVERHULTS, D. G., WHITE, G. M., HAMILTON, H. E. et al. Drying soybeans with heated air. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 16, n. 1, p.112-113, 1973.
- PAULSEN, M. R., NAVE, W. R., GRAY, L. E. Soybean seed quality as affected by impact damage. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 24, n. 6, p.1577-1582, 1589, 1981.

- PAULSEN, M. R., HILL, L. D., WHITE, D. G. et al. Breakage susceptibility of corn-belt genotypes. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 26, n. 6, p.1830-1836, 1983.
- PEREZ, L. H. **Abastecimento no estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Coordenadoria de Abastecimento/FAO, 1982. 165p.
- RADAJEWSKI, W., JENSEN, T., ABAWI, G. Y. et al. Drying rate and damage to navy beans. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 35, n. 2, p.583-590, 1992.
- RAMOS, A. M., PEREIRA, J. A. M., QUEIROZ, D. M. de. Equações de secagem de trigo em camada fina e determinação dos coeficientes de difusão de líquido. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 18/19, n. 1/2, p.43-47, 1993/94.
- ROJANASAROJ, G. M. C., WHITE, G. M., LOEWER, O. J., ENGLI, D. B. Influence of heated air drying on soybean impact damage. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 19, n. 2, p.372-377, 1976.
- ROSS, I. J., WHITE, G. M. Thin layer drying characteristics of white corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 15, n. 1, p.175-176, 179, 1972.
- SATHLER, M. G. B. **Secagem de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em camadas finas, a baixas temperaturas e seus efeitos na germinação das sementes**. Viçosa, MG: UFV, 39p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, 1979.
- SOARES, J. B. **Curvas de secagem em camada fina e propriedades físicas de soja (*Glycine max*. L.)**. Viçosa, MG: UFV, 91p. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, 1986.
- STEFFE, J. F., SINGH, R. P. Liquid diffusivity of rough rice components. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 23, n. 3, p.767-774, 782, 1980.
- STEPHENS, L. E., FOSTER, G. H. **Breakage tester predicts handling damage in corn**. Illinois: A. R. S. , U. S. D. A., 1976. 6p. (ARS - NC - 49).
- TANG, J., SOKHANSANJ, S. Drying parameter effects on lentil seed viability. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 36, n. 3, p.855-861, 1993.
- TRAVAGLINI, D. A., TANGO, J. S. Estudo sobre as temperaturas de secagem do amendoim em casca e os seus efeitos sobre as qualidades do produto armazenado. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 1, n. 2, p.365-378, 1965/66.
- VALVERDE, N. F. M. **Efeito do tempo de residência, durante o processo de secagem, sobre a qualidade de sementes de soja (*Glicine max* L.)**.

Viçosa, MG: UFV, 74p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-
Universidade Federal de Viçosa, 1989.

VIEIRA, R. D. Teste de condutividade elétrica. In: VIEIRA, R. D., CARVALHO, N. M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 1994. p.103-132.

VIEIRA, R. F., VIEIRA, C., RAMOS, J. A. O. **Produção de sementes de feijão**. Viçosa: EPAMIG, 1993. 131p.

ZINK, E., ALMEIDA, L. D'A. Estudos sobre a conservação de sementes de feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 29, n. 27, p.45-47, 1970. (Nota, 10).

WALKER, R. J., BARRE, H. J. The effect of temperature and humidity of the drying air on soybean germination and crackage. In: **NATIONAL GRAIN DAMAGE SYMPOSIUM**. Columbus: ASAE, 1972. p.171-179.

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

WHITE, G. M., BRIDGES, T. C., LOEWER, O. J. et al. Seed coat damage in thin-layer drying of soybeans. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 23, n. 1, p.224-227, 1980.

WHITE, G. M., LOEWER, O. J., ROSS, I. J. et al. Storage characteristics of soybeans dried with heated air. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 19, n. 2, p.306-310, 1976.

WHITE, G. M., BRIDGES, T. C., LOEWER, O. J. et al. Thin-layer drying model for soybeans. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 24, n. 6, p.1643-1646, 1981.

APÊNDICES

APÊNDICE A

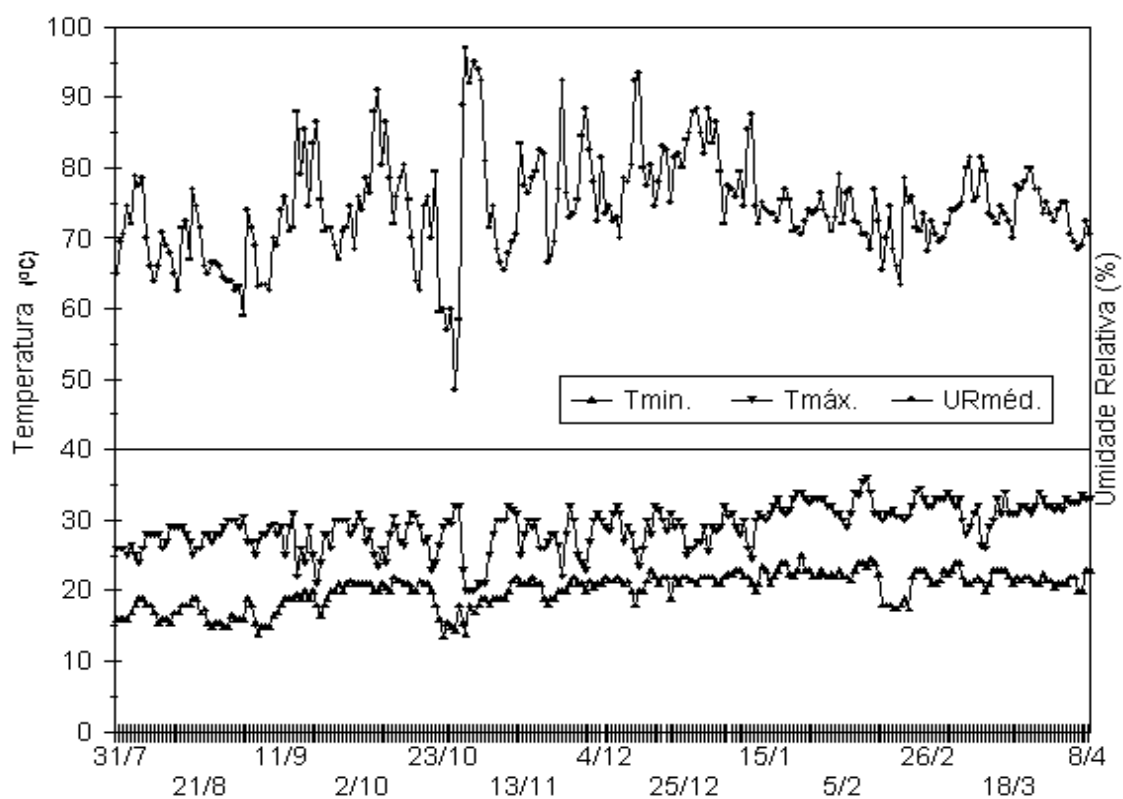


Figura 1A. Valores diários médios de temperatura (máxima e mínima) e umidade relativa do ar do local de armazenagem, registrados em termoigrógrafo durante seis meses.

APÊNDICE B

Quadro 1B. Teores de umidade (b.s.) observados na secagem de sementes de feijão até a umidade final de 0,124 b.s. (11% b.u.), três repetições, para diferentes temperaturas do ar de secagem e para sementes com umidade inicial de 0,206 b.s. (17,1% b.u.)

Tempo (min.)	Temperatura (°C)											
	35			40			45			50		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206
5	0,203	0,203	0,203	0,203	0,202	0,202	0,202	0,202	0,201	0,199	0,199	0,199
10	0,200	0,200	0,200	0,200	0,199	0,198	0,198	0,197	0,197	0,194	0,194	0,194
15	0,198	0,198	0,197	0,197	0,196	0,196	0,194	0,194	0,194	0,191	0,190	0,190
20	0,196	0,195	0,195	0,194	0,193	0,193	0,192	0,191	0,191	0,187	0,187	0,186
25	0,194	0,194	0,194	0,192	0,191	0,191	0,189	0,189	0,188	0,184	0,184	0,183
30	0,192	0,192	0,192	0,190	0,189	0,188	0,187	0,186	0,186	0,181	0,181	0,181
35	0,191	0,191	0,190	0,188	0,187	0,187	0,185	0,184	0,184	0,179	0,179	0,178
40	0,189	0,189	0,189	0,186	0,186	0,185	0,182	0,182	0,182	0,177	0,176	0,176
45	0,188	0,188	0,188	0,185	0,184	0,183	0,181	0,180	0,180	0,175	0,175	0,174
50	0,186	0,187	0,186	0,183	0,183	0,182	0,179	0,179	0,178	0,173	0,173	0,172
55	0,185	0,185	0,185	0,182	0,181	0,180	0,177	0,177	0,176	0,171	0,171	0,170
60	0,184	0,184	0,184	0,180	0,180	0,179	0,176	0,175	0,175	0,169	0,169	0,169
70	0,182	0,181	0,182	0,178	0,177	0,176	0,173	0,172	0,172	0,166	0,166	0,165
80	0,180	0,180	0,180	0,176	0,175	0,174	0,171	0,170	0,169	0,163	0,163	0,162
90	0,178	0,178	0,177	0,173	0,173	0,172	0,168	0,167	0,167	0,161	0,160	0,160
100	0,176	0,176	0,176	0,171	0,171	0,170	0,166	0,165	0,164	0,158	0,158	0,157
110	0,174	0,174	0,174	0,169	0,169	0,168	0,164	0,163	0,162	0,156	0,155	0,155
120	0,173	0,173	0,172	0,167	0,167	0,166	0,162	0,161	0,160	0,154	0,153	0,152
130	0,171	0,171	0,171	0,166	0,165	0,164	0,160	0,159	0,158	0,151	0,151	0,150
140	0,170	0,170	0,169	0,164	0,164	0,163	0,158	0,157	0,157	0,149	0,149	0,148
150	0,168	0,168	0,168	0,163	0,162	0,161	0,156	0,155	0,155	0,147	0,147	0,146
160	0,167	0,167	0,167	0,161	0,161	0,159	0,155	0,153	0,153	0,146	0,145	0,144
170	0,165	0,166	0,165	0,160	0,159	0,158	0,153	0,152	0,152	0,144	0,143	0,143
180	0,164	0,164	0,164	0,159	0,158	0,157	0,151	0,150	0,150	0,142	0,142	0,141
200	0,162	0,162	0,162	0,156	0,156	0,154	0,149	0,148	0,147	0,139	0,139	0,138
220	0,159	0,160	0,159	0,154	0,153	0,152	0,146	0,145	0,144	0,136	0,135	0,135
240	0,157	0,158	0,157	0,152	0,151	0,149	0,144	0,142	0,142	0,133	0,133	0,132
260	0,155	0,155	0,155	0,150	0,149	0,147	0,142	0,140	0,140	0,131	0,131	0,130
280	0,153	0,154	0,153	0,148	0,147	0,145	0,140	0,138	0,137	0,129	0,128	0,127
300	0,152	0,152	0,152	0,146	0,145	0,143	0,137	0,136	0,135	0,126	0,126	0,125
320	0,150	0,150	0,150	0,144	0,143	0,142	0,136	0,134	0,134	0,124	0,124	0,123
340	0,148	0,148	0,148	0,142	0,142	0,140	0,134	0,132	0,132			
360	0,146	0,147	0,146	0,141	0,140	0,139	0,132	0,130	0,130			
380	0,145	0,145	0,145	0,140	0,139	0,137	0,130	0,129	0,128			
400	0,144	0,144	0,144	0,138	0,137	0,136	0,129	0,127	0,127			
420	0,142	0,142	0,142	0,136	0,136	0,134	0,127	0,125	0,125			
440	-	-	-	-	-	-	0,126	0,124	0,124			
460	0,140	0,140	0,140	0,134	0,133	0,131						
500	0,138	0,138	0,138	0,132	0,131	0,129						
540	0,136	0,137	0,136	0,130	0,129	0,127						
580	0,135	0,135	0,135	0,127	0,127	0,125						
620	0,133	0,134	0,133	0,126	0,125	0,123						

Quadro 1B, Cont.

Temperatura (°C)

Tempo (min.)	35			40			45			50		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
660	0,132	0,132	0,132									
700	0,130	0,131	0,131									
740	0,129	0,129	0,129									
780	0,128	0,128	0,128									
820	0,126	0,126	0,127									
860	0,126	0,125	0,125									
900	0,125	0,124	0,125									

Quadro 2B. Teores de umidade (b.s.) observados na secagem de sementes de feijão até a umidade final de 0,149 b.s. (13% b.u.), três repetições, para diferentes temperaturas do ar de secagem e para sementes com umidade inicial de 0,206 b.s. (17,1% b.u.)

Tempo (min.)	Temperatura (°C)											
	35			40			45			50		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206	0,206
5	0,203	0,203	0,203	0,202	0,202	0,202	0,201	0,201	0,201	0,200	0,200	0,200
10	0,200	0,200	0,200	0,199	0,199	0,198	0,197	0,197	0,196	0,195	0,195	0,194
15	0,198	0,198	0,197	0,196	0,196	0,195	0,193	0,193	0,193	0,191	0,191	0,191
20	0,195	0,195	0,195	0,193	0,193	0,193	0,191	0,190	0,190	0,188	0,188	0,187
25	0,194	0,194	0,193	0,191	0,191	0,191	0,188	0,188	0,188	0,185	0,185	0,185
30	0,192	0,192	0,191	0,189	0,189	0,189	0,186	0,185	0,185	0,183	0,183	0,183
35	0,190	0,190	0,190	0,187	0,188	0,187	0,184	0,183	0,183	0,180	0,181	0,180
40	0,189	0,189	0,188	0,186	0,186	0,185	0,182	0,181	0,181	0,178	0,178	0,178
45	0,187	0,187	0,187	0,184	0,184	0,184	0,180	0,180	0,180	0,176	0,176	0,176
50	0,186	0,186	0,186	0,183	0,183	0,183	0,178	0,178	0,178	0,174	0,174	0,174
55	0,185	0,185	0,185	0,182	0,181	0,181	0,177	0,176	0,176	0,172	0,173	0,172
60	0,184	0,184	0,183	0,180	0,180	0,180	0,175	0,175	0,175	0,170	0,171	0,170
70	0,182	0,182	0,181	0,178	0,178	0,177	0,173	0,172	0,172	0,167	0,168	0,167
80	0,180	0,180	0,180	0,175	0,175	0,175	0,170	0,169	0,169	0,164	0,165	0,164
90	0,178	0,178	0,178	0,173	0,173	0,173	0,167	0,167	0,167	0,162	0,162	0,162
100	0,177	0,176	0,176	0,171	0,171	0,171	0,165	0,165	0,164	0,159	0,160	0,159
110	0,175	0,175	0,174	0,170	0,169	0,169	0,163	0,163	0,162	0,157	0,157	0,157
120	0,174	0,173	0,173	0,168	0,168	0,167	0,161	0,161	0,161	0,154	0,155	0,155
130	0,172	0,172	0,172	0,166	0,166	0,166	0,159	0,159	0,158	0,152	0,153	0,152
140	0,171	0,170	0,170	0,164	0,165	0,164	0,157	0,157	0,157	0,150	0,151	0,150
150	0,170	0,169	0,169	0,163	0,163	0,163	0,156	0,155	0,155			
160	0,168	0,168	0,168	0,162	0,161	0,161	0,154	0,153	0,153			
170	0,167	0,167	0,166	0,160	0,160	0,160	0,152	0,152	0,152			
180	0,166	0,166	0,165	0,159	0,159	0,158	0,151	0,150	0,150			
200	0,164	0,163	0,163	0,156	0,156	0,156						
220	0,162	0,161	0,161	0,154	0,154	0,153						
240	0,160	0,159	0,159	0,152	0,151	0,151						
260	0,158	0,158	0,157	0,149	0,149	0,149						
280	0,157	0,156	0,156									
300	0,155	0,154	0,154									
320	0,153	0,153	0,153									
340	0,152	0,151	0,151									
360	0,151	0,150	0,150									

Quadro 3B. Teores de umidade (b.s.) observados na secagem de sementes de feijão até a umidade final de 0,124 b.s. (11% b.u.), três repetições, para diferentes temperaturas do ar de secagem e para sementes com umidade inicial de 0,343 b.s. (25,5% b.u.)

Tempo (min.)	Temperatura (°C)											
	35			40			45			50		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343
5	0,332	0,332	0,331	0,329	0,329	0,329	0,328	0,327	0,326	0,324	0,323	0,322
10	0,323	0,322	0,321	0,319	0,319	0,318	0,315	0,314	0,314	0,309	0,308	0,307
15	0,315	0,315	0,314	0,311	0,311	0,310	0,305	0,305	0,304	0,297	0,296	0,295
20	0,309	0,309	0,308	0,304	0,304	0,303	0,297	0,297	0,296	0,288	0,286	0,285
25	0,304	0,303	0,303	0,298	0,297	0,297	0,290	0,290	0,289	0,279	0,278	0,277
30	0,299	0,299	0,298	0,292	0,291	0,291	0,285	0,284	0,283	0,272	0,271	0,269
35	0,295	0,295	0,294	0,287	0,286	0,286	0,279	0,279	0,278	0,266	0,265	0,263
40	0,291	0,291	0,290	0,283	0,282	0,281	0,274	0,274	0,273	0,261	0,259	0,257
45	0,288	0,287	0,287	0,279	0,278	0,277	0,270	0,270	0,269	0,255	0,254	0,252
50	0,284	0,284	0,283	0,275	0,274	0,274	0,266	0,266	0,265	0,250	0,249	0,247
55	0,281	0,281	0,280	0,272	0,271	0,270	0,262	0,262	0,261	0,246	0,245	0,243
60	0,278	0,278	0,277	0,268	0,267	0,267	0,258	0,258	0,258	0,243	0,241	0,239
70	0,272	0,272	0,271	0,261	0,261	0,260	0,253	0,252	0,251	0,235	0,234	0,232
80	0,267	0,267	0,266	0,256	0,255	0,255	0,246	0,246	0,245	0,229	0,227	0,225
90	0,263	0,262	0,261	0,251	0,250	0,250	0,241	0,241	0,240	0,222	0,221	0,218
100	0,258	0,258	0,257	0,246	0,246	0,245	0,236	0,236	0,235	0,217	0,215	0,213
110	0,254	0,254	0,253	0,242	0,242	0,241	0,232	0,231	0,230	0,212	0,210	0,207
120	0,250	0,250	0,249	0,238	0,238	0,237	0,227	0,227	0,226	0,207	0,205	0,203
140	0,243	0,243	0,242	0,231	0,230	0,230	0,219	0,219	0,218	0,198	0,196	0,193
160	0,237	0,237	0,236	0,224	0,224	0,223	0,213	0,212	0,212	0,190	0,188	0,185
180	0,231	0,231	0,230	0,218	0,218	0,217	0,207	0,206	0,205	0,182	0,181	0,177
200	0,227	0,226	0,226	0,213	0,212	0,212	0,201	0,200	0,200	0,176	0,175	0,171
220	0,222	0,222	0,221	0,207	0,207	0,207	0,196	0,195	0,194	0,169	0,168	0,164
240	0,217	0,217	0,216	0,203	0,202	0,202	0,190	0,190	0,190	0,164	0,162	0,158
260	0,213	0,213	0,212	0,199	0,198	0,198	0,186	0,185	0,184	0,159	0,157	0,152
280	0,209	0,209	0,208	0,194	0,194	0,194	0,181	0,181	0,180	0,154	0,152	0,148
300	0,205	0,205	0,204	0,190	0,190	0,189	0,177	0,177	0,176	0,149	0,147	0,143
320	0,202	0,202	0,201	0,186	0,186	0,185	0,173	0,173	0,172	0,145	0,143	0,138
340	0,198	0,198	0,197	0,183	0,182	0,182	0,169	0,169	0,168	0,141	0,139	0,134
360	0,195	0,195	0,194	0,179	0,179	0,178	0,167	0,166	0,164	0,137	0,135	0,131
380	0,192	0,192	0,191	0,176	0,175	0,175	0,163	0,162	0,161	0,133	0,131	0,127
400	0,189	0,189	0,188	0,172	0,172	0,171	0,160	0,159	0,158	0,130	0,128	0,123
420	0,186	0,187	0,185	0,169	0,169	0,168	0,156	0,156	0,155	0,126	0,124	0,120
480	0,179	0,179	0,178	0,161	0,161	0,160	0,147	0,147	0,146			
540	0,172	0,172	0,171	0,155	0,154	0,154	0,140	0,140	0,139			
600	0,167	0,167	0,166	0,148	0,148	0,147	0,134	0,134	0,132			
660	0,162	0,162	0,161	0,142	0,142	0,141	0,128	0,129	0,127			
720	0,158	0,158	0,157	0,137	0,137	0,136	0,123	0,124	0,122			
780	0,154	0,154	0,153	0,133	0,132	0,132						
840	0,150	0,150	0,149	0,128	0,128	0,127						
900	0,146	0,146	0,145	0,124	0,124	0,123						
1000	0,141	0,140	0,140									
1120	0,135	0,135	0,134									
1240	0,131	0,131	0,129									
1360	0,127	0,127	0,126									
1480	0,125	0,125	0,123									

Quadro 4B. Teores de umidade (b.s.) observados na secagem de sementes de feijão até a umidade final de 0,149 b.s. (13% b.u.), três repetições, para diferentes temperaturas do ar de secagem e para sementes com umidade inicial de 0,343 b.s. (25,5% b.u.)

Tempo (min.)	Temperatura (°C)											
	35			40			45			50		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343
5	0,336	0,336	0,336	0,329	0,329	0,329	0,326	0,325	0,325	0,322	0,322	0,321
10	0,330	0,330	0,330	0,318	0,318	0,317	0,313	0,312	0,311	0,309	0,308	0,307
15	0,325	0,325	0,324	0,309	0,309	0,308	0,302	0,302	0,300	0,298	0,297	0,297
20	0,320	0,320	0,319	0,302	0,302	0,301	0,294	0,293	0,292	0,289	0,288	0,287
25	0,315	0,315	0,314	0,305	0,305	0,305	0,286	0,285	0,285	0,281	0,281	0,280
30	0,310	0,310	0,310	0,290	0,290	0,290	0,280	0,279	0,278	0,274	0,274	0,273
35	0,306	0,306	0,306	0,285	0,285	0,285	0,274	0,273	0,273	0,268	0,268	0,267
40	0,302	0,302	0,302	0,280	0,280	0,280	0,269	0,268	0,268	0,263	0,263	0,261
45	0,299	0,298	0,298	0,276	0,276	0,276	0,264	0,263	0,263	0,258	0,258	0,257
50	0,295	0,295	0,295	0,273	0,272	0,272	0,261	0,259	0,259	0,253	0,253	0,252
55	0,292	0,292	0,291	0,269	0,269	0,269	0,256	0,255	0,255	0,250	0,249	0,249
60	0,289	0,289	0,288	0,266	0,266	0,265	0,253	0,251	0,252	0,246	0,246	0,245
70	0,283	0,283	0,283	0,260	0,260	0,259	0,246	0,244	0,244	0,239	0,239	0,238
80	0,278	0,278	0,277	0,254	0,254	0,254	0,240	0,238	0,238	0,233	0,232	0,231
90	0,273	0,273	0,272	0,249	0,249	0,249	0,234	0,233	0,233	0,227	0,227	0,225
100	0,268	0,268	0,267	0,244	0,245	0,244	0,229	0,228	0,228	0,222	0,221	0,220
110	0,264	0,264	0,263	0,240	0,240	0,240	0,224	0,223	0,223	0,217	0,216	0,215
120	0,260	0,260	0,259	0,236	0,236	0,236	0,220	0,219	0,219	0,212	0,212	0,211
140	0,251	0,251	0,250	0,229	0,229	0,229	0,212	0,210	0,210	0,204	0,203	0,202
160	0,245	0,244	0,243	0,222	0,222	0,222	0,205	0,203	0,203	0,196	0,196	0,194
180	0,238	0,238	0,236	0,217	0,217	0,216	0,198	0,196	0,197	0,189	0,188	0,187
200	0,232	0,231	0,230	0,211	0,212	0,211	0,192	0,190	0,190	0,182	0,182	0,181
220	0,226	0,226	0,224	0,206	0,206	0,206	0,186	0,184	0,185	0,176	0,176	0,175
240	0,221	0,220	0,219	0,201	0,202	0,201	0,181	0,179	0,180	0,171	0,170	0,170
260	0,216	0,216	0,214	0,197	0,197	0,196	0,176	0,174	0,175	0,166	0,165	0,164
280	0,211	0,211	0,210	0,193	0,193	0,192	0,172	0,170	0,170	0,161	0,161	0,159
300	0,207	0,207	0,205	0,189	0,189	0,189	0,167	0,165	0,166	0,157	0,156	0,155
320	0,203	0,202	0,201	0,185	0,185	0,185	0,163	0,161	0,161	0,153	0,152	0,150
340	0,199	0,199	0,197	0,182	0,182	0,181	0,159	0,157	0,158			
360	0,196	0,195	0,194	0,178	0,179	0,178	0,156	0,154	0,154			
380	0,192	0,192	0,190	0,175	0,176	0,175	0,152	0,150	0,151			
400	0,189	0,189	0,187	0,172	0,173	0,172	0,149	0,147	0,147			
420	0,186	0,186	0,184	0,170	0,170	0,169						
480	0,179	0,178	0,176	0,162	0,162	0,161						
540	0,171	0,170	0,169	0,155	0,155	0,155						
600	0,165	0,164	0,163	0,150	0,150	0,150						
660	0,160	0,159	0,157									
720	0,155	0,154	0,153									
780	0,150	0,150	0,149									

Quadro 5B. Teores de umidade (b.s.) observados na secagem de sementes de feijão até a umidade final de 0,124 b.s. (11% b.u.), três repetições, para diferentes temperaturas do ar de secagem e para sementes com umidade inicial de 0,596 b.s. (37,3% b.u.)

Tempo (min.)	Temperatura (°C)											
	35			40			45			50		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596
5	0,571	0,570	0,567	0,561	0,560	0,561	0,565	0,565	0,562	0,563	0,563	0,563
10	0,549	0,547	0,546	0,534	0,534	0,536	0,535	0,534	0,532	0,532	0,532	0,532
15	0,529	0,527	0,526	0,513	0,512	0,514	0,510	0,509	0,508	0,506	0,506	0,506
20	0,511	0,509	0,508	0,494	0,493	0,496	0,491	0,490	0,489	0,483	0,484	0,483
25	0,495	0,493	0,492	0,479	0,478	0,481	0,474	0,474	0,472	0,464	0,464	0,463
30	0,480	0,479	0,478	0,465	0,464	0,467	0,460	0,459	0,458	0,448	0,449	0,448
35	0,468	0,467	0,465	0,452	0,451	0,455	0,447	0,446	0,445	0,435	0,436	0,435
40	0,456	0,456	0,454	0,440	0,440	0,444	0,436	0,435	0,433	0,422	0,424	0,422
45	0,446	0,446	0,444	0,430	0,429	0,433	0,425	0,424	0,423	0,411	0,412	0,411
50	0,436	0,436	0,435	0,420	0,420	0,424	0,414	0,412	0,411	0,401	0,403	0,401
55	0,428	0,428	0,426	0,411	0,410	0,415	0,405	0,403	0,402	0,391	0,394	0,392
60	0,419	0,420	0,418	0,402	0,402	0,406	0,396	0,394	0,394	0,383	0,385	0,383
65	0,413	0,413	0,411	0,393	0,393	0,397	0,389	0,387	0,387	0,375	0,377	0,375
70	0,405	0,406	0,404	0,386	0,386	0,391	0,381	0,379	0,379	0,366	0,369	0,366
75	0,399	0,400	0,398	0,379	0,379	0,384	0,374	0,372	0,372	0,358	0,361	0,359
80	0,393	0,393	0,392	0,372	0,371	0,376	0,367	0,365	0,365	0,352	0,355	0,352
85	0,387	0,387	0,386	0,365	0,364	0,371	0,360	0,358	0,358	0,344	0,348	0,345
90	0,380	0,382	0,380	0,359	0,358	0,364	0,353	0,351	0,351	0,338	0,341	0,338
100	0,369	0,371	0,369	0,346	0,346	0,352	0,341	0,339	0,339	0,325	0,329	0,326
110	0,360	0,361	0,359	0,335	0,334	0,341	0,330	0,328	0,327	0,314	0,319	0,315
120	0,350	0,352	0,350	0,325	0,324	0,330	0,320	0,317	0,317	0,304	0,309	0,305
130	0,342	0,343	0,342	0,315	0,315	0,321	0,311	0,308	0,308	0,294	0,292	0,295
140	0,334	0,335	0,334	0,306	0,305	0,312	0,302	0,300	0,300	0,285	0,291	0,287
150	0,326	0,328	0,326	0,298	0,298	0,305	0,294	0,292	0,291	0,277	0,283	0,278
160	0,319	0,321	0,319	0,290	0,289	0,296	0,286	0,284	0,283	0,269	0,275	0,270
170	0,312	0,314	0,313	0,282	0,281	0,289	0,278	0,276	0,275	0,261	0,268	0,263
180	0,306	0,308	0,306	0,275	0,274	0,282	0,270	0,268	0,268	0,250	0,257	0,251
200	0,294	0,296	0,294	0,262	0,261	0,269	0,257	0,255	0,254	0,233	0,240	0,234
220	0,283	0,285	0,284	0,250	0,249	0,257	0,245	0,242	0,242	0,219	0,227	0,220
240	0,273	0,275	0,274	0,239	0,238	0,246	0,234	0,232	0,231	0,207	0,214	0,208
260	0,264	0,266	0,265	0,230	0,228	0,237	0,224	0,222	0,221	0,198	0,205	0,199
280	0,256	0,258	0,257	0,220	0,219	0,228	0,214	0,212	0,212	0,189	0,197	0,191
300	0,249	0,251	0,249	0,212	0,211	0,219	0,205	0,204	0,203	0,182	0,190	0,183
320	0,241	0,243	0,242	0,205	0,203	0,212	0,197	0,196	0,195	0,175	0,183	0,176
340	0,235	0,237	0,235	0,198	0,195	0,205	0,190	0,188	0,188	0,168	0,176	0,169
360	0,229	0,230	0,229	0,191	0,189	0,198	0,183	0,181	0,181	0,162	0,170	0,163
380	0,222	0,224	0,223	0,185	0,182	0,192	0,177	0,175	0,174	0,156	0,164	0,157
400	0,218	0,219	0,218	0,178	0,176	0,185	0,171	0,169	0,169	0,150	0,159	0,152
420	0,213	0,215	0,214	0,173	0,171	0,180	0,166	0,164	0,163	0,146	0,154	0,147
460	0,204	0,205	0,204	0,162	0,160	0,170	0,156	0,154	0,154	0,136	0,143	0,137
500	0,194	0,196	0,195	0,154	0,152	0,161	0,148	0,146	0,145	0,129	0,136	0,130
540	0,187	0,189	0,188	0,147	0,144	0,153	0,140	0,138	0,138	0,122	0,129	0,123
580	0,180	0,182	0,181	0,140	0,137	0,146	0,133	0,131	0,130			
620	0,174	0,175	0,175	0,133	0,130	0,140	0,126	0,124	0,125			
660	0,169	0,170	0,169	0,128	0,124	0,134						
690	-	-	-	0,124	0,121	0,129						
740	0,158	0,160	0,159									

Quadro 5B, Cont.

Tempo	Temperatura (°C)			
	35	40	45	50

(min.)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
820	0,150	0,152	0,151									
900	0,143	0,145	0,144									
1060	0,132	0,133	0,132									
1140	0,126	0,128	0,127									
1220	0,122	0,124	0,122									

Quadro 6B. Teores de umidade (b.s.) observados na secagem de sementes de feijão até a umidade final de 0,149 b.s. (13% b.u.), três repetições, para diferentes temperaturas do ar de secagem e para sementes com umidade inicial de 0,596 b.s. (37,3% b.u.)

Tempo (min.)	Temperatura (°C)											
	35			40			45			50		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596	0,596
5	0,579	0,581	0,581	0,563	0,563	0,564	0,567	0,567	0,566	0,560	0,560	0,560
10	0,564	0,567	0,567	0,537	0,538	0,538	0,542	0,542	0,540	0,526	0,527	0,525
15	0,544	0,548	0,547	0,516	0,517	0,517	0,516	0,518	0,515	0,504	0,505	0,504
20	0,528	0,533	0,533	0,499	0,500	0,500	0,495	0,497	0,495	0,484	0,484	0,483
25	0,513	0,518	0,518	0,484	0,484	0,484	0,481	0,482	0,480	0,466	0,466	0,466
30	0,501	0,507	0,507	0,471	0,471	0,471	0,464	0,466	0,464	0,450	0,450	0,450
35	0,489	0,495	0,495	0,460	0,459	0,459	0,452	0,453	0,451	0,437	0,437	0,436
40	0,479	0,485	0,485	0,449	0,448	0,448	0,440	0,441	0,440	0,424	0,424	0,423
45	0,469	0,475	0,475	0,439	0,438	0,438	0,429	0,430	0,428	0,414	0,412	0,413
50	0,458	0,465	0,465	0,430	0,428	0,428	0,418	0,420	0,418	0,404	0,402	0,403
55	0,448	0,455	0,455	0,423	0,420	0,420	0,408	0,410	0,408	0,394	0,393	0,394
60	0,440	0,447	0,447	0,415	0,412	0,411	0,400	0,403	0,400	0,386	0,384	0,385
65	0,433	0,441	0,440	0,408	0,404	0,403	0,391	0,393	0,391	0,379	0,376	0,377
70	0,426	0,433	0,433	0,401	0,397	0,396	0,383	0,385	0,383	0,370	0,368	0,369
75	0,419	0,426	0,427	0,395	0,390	0,390	0,375	0,377	0,375	0,363	0,360	0,361
80	0,413	0,420	0,420	0,389	0,384	0,383	0,368	0,370	0,368	0,356	0,353	0,354
85	0,406	0,414	0,414	0,383	0,377	0,377	0,362	0,364	0,362	0,347	0,346	0,347
90	0,401	0,408	0,409	0,377	0,372	0,371	0,355	0,358	0,355	0,342	0,339	0,341
100	0,389	0,397	0,397	0,367	0,360	0,360	0,344	0,346	0,344	0,330	0,326	0,328
110	0,379	0,386	0,386	0,357	0,350	0,349	0,333	0,336	0,333	0,318	0,314	0,316
120	0,369	0,377	0,378	0,349	0,340	0,339	0,323	0,326	0,323	0,307	0,303	0,306
130	0,360	0,368	0,369	0,340	0,331	0,330	0,314	0,316	0,314	0,298	0,293	0,296
140	0,351	0,359	0,361	0,332	0,322	0,321	0,305	0,308	0,305	0,289	0,284	0,287
150	0,343	0,352	0,356	0,325	0,315	0,313	0,297	0,299	0,296	0,280	0,275	0,279
160	0,335	0,344	0,346	0,318	0,307	0,306	0,289	0,292	0,289	0,272	0,267	0,271
170	0,329	0,338	0,340	0,312	0,300	0,299	0,281	0,284	0,282	0,265	0,260	0,263
180	0,322	0,331	0,333	0,305	0,293	0,291	0,275	0,278	0,275	0,258	0,252	0,256
200	0,310	0,319	0,321	0,293	0,280	0,279	0,262	0,265	0,262	0,245	0,239	0,243
220	0,298	0,308	0,310	0,283	0,269	0,267	0,250	0,253	0,250	0,233	0,227	0,232
240	0,288	0,298	0,300	0,273	0,258	0,257	0,240	0,242	0,240	0,222	0,217	0,221
260	0,278	0,288	0,291	0,264	0,248	0,247	0,230	0,233	0,230	0,213	0,206	0,211
280	0,269	0,279	0,283	0,256	0,240	0,238	0,221	0,224	0,221	0,203	0,197	0,202
300	0,261	0,272	0,275	0,248	0,231	0,229	0,213	0,216	0,213	0,195	0,189	0,193
320	0,253	0,264	0,267	0,240	0,223	0,221	0,206	0,208	0,205	0,188	0,181	0,186
340	0,247	0,258	0,261	0,234	0,216	0,214	0,199	0,201	0,198	0,181	0,174	0,179
360	0,240	0,252	0,255	0,228	0,209	0,208	0,192	0,194	0,191	0,175	0,168	0,174
380	0,233	0,245	0,248	0,222	0,203	0,201	0,186	0,189	0,185	0,170	0,162	0,168
400	0,228	0,240	0,243	0,217	0,197	0,196	0,180	0,183	0,179	0,163	0,156	0,162
420	0,223	0,235	0,238	0,211	0,192	0,190	0,175	0,177	0,174	0,158	0,151	0,156
460	0,213	0,225	0,228	0,201	0,181	0,180	0,166	0,169	0,165	0,149	0,141	0,148
500	0,204	0,216	0,219	0,192	0,171	0,170	0,157	0,160	0,156			
540	0,196	0,208	0,212	0,184	0,163	0,161	0,149	0,152	0,148			
580	0,189	0,201	0,205	0,177	0,155	0,154						
620	0,182	0,195	0,199	0,170	0,149	0,147						
660	0,176	0,189	0,193	0,165	0,143	0,141						
740	0,165	0,178	0,181									
820	0,154	0,167	0,171									

Quadro 6B, Cont.

Tempo (min.)	Temperatura (°C)											
	35			40			45			50		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3

900	0,146	0,159	0,163
980	0,137	0,150	0,154

APÊNDICE C

Quadro 1C. Valores médios das condições ambientes, durante a secagem, considerando as diferentes combinações de temperatura de

secagem (T), teor de umidade inicial (UI) e teor de umidade final (UF) das sementes

T (°C)	UI (% b.u.)	UF (% b.u.)	Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)
35	17,1	11	27,1	57,3
35	17,1	13	25,2	64,6
35	25,5	11	22,2	68,9
35	25,5	13	23,0	79,8
35	37,3	11	20,5	79,2
35	37,3	13	22,4	60,9
40	17,1	11	26,2	61,5
40	17,1	13	21,0	56,2
40	25,5	11	23,9	58,5
40	25,5	13	28,4	64,4
40	37,3	11	22,4	58,0
40	37,3	13	24,6	61,7
45	17,1	11	26,4	63,6
45	17,1	13	27,8	58,2
45	25,5	11	22,5	76,4
45	25,5	13	29,1	61,0
45	37,3	11	26,9	55,2
45	37,3	13	22,2	73,1
50	17,1	11	24,7	78,6
50	17,1	13	25,0	62,7
50	25,5	11	23,0	74,3
50	25,5	13	25,7	68,6
50	37,3	11	26,3	57,6
50	37,3	13	24,0	62,7

APÊNDICE D

Quadro 1D. Valores dos parâmetros "k" e "n" da equação de Page, três repetições (Rep), considerando as diferentes combinações de temperatura de

secagem (T), teor de umidade inicial (UI) e teor de umidade final (UF) das sementes

T (°C)	UI (b.s.)	UF (b.s.)	Rep	k	n	r ²
35	0,206	0,124	1	0,22758	0,67030	0,9990
35	0,206	0,124	2	0,22692	0,66887	0,9989
35	0,206	0,124	3	0,22884	0,66747	0,9989
35	0,206	0,149	1	0,23121	0,68189	0,9990
35	0,206	0,149	2	0,23290	0,67468	0,9991
35	0,206	0,149	3	0,23497	0,66296	0,9989
35	0,342	0,124	1	0,30279	0,61688	0,9995
35	0,342	0,124	2	0,30574	0,61044	0,9997
35	0,342	0,124	3	0,30949	0,61423	0,9997
35	0,342	0,149	1	0,25234	0,62202	0,9993
35	0,342	0,149	2	0,25190	0,62852	0,9995
35	0,342	0,149	3	0,25495	0,63117	0,9994
35	0,595	0,124	1	0,41852	0,65628	0,9983
35	0,595	0,124	2	0,41731	0,64548	0,9987
35	0,595	0,124	3	0,42185	0,65385	0,9985
35	0,595	0,149	1	0,36451	0,68863	0,9979
35	0,595	0,149	2	0,34945	0,67404	0,9974
35	0,595	0,149	3	0,35588	0,65878	0,9968
40	0,206	0,124	1	0,22652	0,65307	0,9987
40	0,206	0,124	2	0,23747	0,64065	0,9990
40	0,206	0,124	3	0,24131	0,64725	0,9991
40	0,206	0,149	1	0,23583	0,65532	0,9990
40	0,206	0,149	2	0,23796	0,65767	0,9987
40	0,206	0,149	3	0,24536	0,65677	0,9991
40	0,342	0,124	1	0,31792	0,60277	0,9994
40	0,342	0,124	2	0,32042	0,59964	0,9994
40	0,342	0,124	3	0,32343	0,59773	0,9992
40	0,342	0,149	1	0,33180	0,58866	0,9989
40	0,342	0,149	2	0,33097	0,57612	0,9989
40	0,342	0,149	3	0,33406	0,57119	0,9992
40	0,595	0,124	1	0,45153	0,65232	0,9997
40	0,595	0,124	2	0,45109	0,66045	0,9997
40	0,595	0,124	3	0,43894	0,64477	0,9995
40	0,595	0,149	1	0,41853	0,60014	0,9988
40	0,595	0,149	2	0,42696	0,64467	0,9994
40	0,595	0,149	3	0,42772	0,64994	0,9995
45	0,206	0,124	1	0,23135	0,63863	0,9987
45	0,206	0,124	2	0,23833	0,64261	0,9986
45	0,206	0,124	3	0,24315	0,63299	0,9987

Quadro 1D, Cont.

T (°C)	UI (b.s.)	UF (b.s.)	Rep	k	n	r ²
45	0,206	0,149	1	0,24963	0,66231	0,9993
45	0,206	0,149	2	0,25136	0,66117	0,9989
45	0,206	0,149	3	0,25498	0,64897	0,9985
45	0,342	0,124	1	0,33076	0,59786	0,9991

45	0,342	0,124	2	0,33220	0,58815	0,9991
45	0,342	0,124	3	0,33593	0,60013	0,9993
45	0,342	0,149	1	0,37490	0,59168	0,9989
45	0,342	0,149	2	0,38493	0,58997	0,9990
45	0,342	0,149	3	0,38526	0,58573	0,9989
45	0,595	0,124	1	0,45229	0,64670	0,9992
45	0,595	0,124	2	0,45773	0,64633	0,9992
45	0,595	0,124	3	0,45983	0,64421	0,9994
45	0,595	0,149	1	0,44752	0,64790	0,9985
45	0,595	0,149	2	0,44554	0,64356	0,9981
45	0,595	0,149	3	0,44915	0,64674	0,9987
50	0,206	0,124	1	0,27799	0,62895	0,9993
50	0,206	0,124	2	0,28170	0,62486	0,9994
50	0,206	0,124	3	0,28578	0,62508	0,9994
50	0,206	0,149	1	0,26110	0,65733	0,9987
50	0,206	0,149	2	0,25902	0,65359	0,9987
50	0,206	0,149	3	0,26173	0,65146	0,9991
50	0,342	0,124	1	0,39797	0,57159	0,9988
50	0,342	0,124	2	0,40860	0,56907	0,9993
50	0,342	0,124	3	0,41709	0,57050	0,9992
50	0,342	0,149	1	0,39000	0,58536	0,9988
50	0,342	0,149	2	0,39648	0,58573	0,9988
50	0,342	0,149	3	0,40205	0,58184	0,9992
50	0,595	0,124	1	0,48513	0,62951	0,9988
50	0,595	0,124	2	0,47560	0,62403	0,9987
50	0,595	0,124	3	0,48401	0,62202	0,9988
50	0,595	0,149	1	0,47716	0,62982	0,9992
50	0,595	0,149	2	0,48200	0,64554	0,9992
50	0,595	0,149	3	0,47964	0,63147	0,9993

APÊNDICE E

Quadro 1E. Valores de suscetibilidade à quebra (SQ), germinação (G) e vigor, pelos testes de primeira contagem (PC), tetrazólio (TTZ) e condutividade elétrica (CE), das sementes de feijão, três repetições (Rep), imediatamente após a secagem, para as diferentes

combinações de temperatura de secagem (T), teor de umidade inicial (UI) e teor de umidade final (UF) das sementes

T (°C)	UI (%b.u.)	UF (%b.u.)	Rep	SQ (%)	G (%)	Vigor		
						PC (%)	TTZ (%)	CE (mS.cm ⁻¹ .g ⁻¹)
35	17,1	11	1	0,20	99,00	96,50	97,00	84,35
35	17,1	11	2	0,17	96,50	92,50	98,00	86,49
35	17,1	11	3	0,18	98,50	98,00	97,00	85,62
35	17,1	13	1	0,10	99,50	99,00	99,00	76,18
35	17,1	13	2	0,11	98,50	98,00	99,00	75,93
35	17,1	13	3	0,12	99,00	98,00	98,00	80,14
35	25,5	11	1	0,74	99,00	98,00	93,00	99,70
35	25,5	11	2	1,13	97,50	94,50	92,00	96,73
35	25,5	11	3	0,65	98,50	96,00	88,00	95,16
35	25,5	13	1	0,87	93,00	90,00	97,00	96,56
35	25,5	13	2	1,12	95,00	94,00	98,00	96,91
35	25,5	13	3	0,46	93,50	91,50	96,00	97,12
35	37,3	11	1	16,45	70,50	66,00	82,00	174,89
35	37,3	11	2	19,22	73,00	61,00	83,00	175,07
35	37,3	11	3	22,74	74,00	59,50	78,00	169,61
35	37,3	13	1	16,54	76,50	72,50	79,00	114,57
35	37,3	13	2	16,83	77,50	75,00	77,00	123,97
35	37,3	13	3	15,88	80,00	71,00	80,00	119,82
40	17,1	11	1	0,20	99,00	97,50	97,00	85,54
40	17,1	11	2	0,33	95,50	95,00	99,00	89,28
40	17,1	11	3	0,16	97,50	94,00	97,00	88,31
40	17,1	13	1	0,10	98,00	97,50	98,00	79,34
40	17,1	13	2	0,13	97,00	95,50	99,00	78,91
40	17,1	13	3	0,19	97,00	95,00	97,00	80,54
40	25,5	11	1	0,40	98,00	92,50	84,00	102,35
40	25,5	11	2	0,63	98,00	95,00	87,00	102,27
40	25,5	11	3	1,15	97,00	96,00	89,00	103,63
40	25,5	13	1	0,58	92,00	89,50	90,00	98,39
40	25,5	13	2	0,82	92,50	91,50	97,00	98,48
40	25,5	13	3	0,53	95,00	94,00	97,00	95,12
40	37,3	11	1	26,03	45,50	38,50	63,00	202,88
40	37,3	11	2	27,08	48,00	38,00	67,00	208,35
40	37,3	11	3	27,45	48,50	39,50	58,00	209,95
40	37,3	13	1	24,34	51,50	42,00	60,00	166,31
40	37,3	13	2	25,84	49,50	41,50	59,00	161,87
40	37,3	13	3	27,38	54,50	45,00	50,00	168,19

Quadro 1E, Cont.

T (°C)	UI (%b.s.)	UF (%b.u.)	Rep	SQ (%)	G (%)	Vigor		
						PC (%)	TTZ (%)	CE (mS.cm ⁻¹ .g ⁻¹)
45	17,1	11	1	0,24	96,50	91,50	92,00	112,95
45	17,1	11	2	0,35	93,00	90,50	87,00	112,65
45	17,1	11	3	0,38	92,50	87,50	86,00	111,77
45	17,1	13	1	0,33	98,00	96,00	92,00	84,29
45	17,1	13	2	0,30	98,50	94,50	92,00	84,12

45	17,1	13	3	0,28	98,50	97,00	92,00	82,86
45	25,5	11	1	1,03	87,50	86,50	85,00	105,07
45	25,5	11	2	0,73	90,00	88,00	82,00	103,23
45	25,5	11	3	1,25	89,00	87,00	80,00	104,18
45	25,5	13	1	1,25	91,00	89,50	97,00	99,64
45	25,5	13	2	0,83	92,50	91,00	93,00	98,83
45	25,5	13	3	0,71	92,50	91,00	95,00	97,96
45	37,3	11	1	37,29	22,00	20,00	42,00	209,28
45	37,3	11	2	37,03	18,50	15,50	35,00	212,07
45	37,3	11	3	34,81	19,00	18,00	38,00	211,79
45	37,3	13	1	37,27	24,50	20,00	21,00	220,14
45	37,3	13	2	34,42	26,50	19,00	25,00	211,21
45	37,3	13	3	36,04	23,00	16,50	26,00	216,66
50	17,1	11	1	0,47	94,00	88,00	89,00	130,20
50	17,1	11	2	0,42	92,00	84,00	89,00	127,37
50	17,1	11	3	0,55	90,50	86,50	84,00	129,72
50	17,1	13	1	0,32	94,50	93,50	88,00	98,63
50	17,1	13	2	0,28	90,50	88,00	92,00	98,59
50	17,1	13	3	0,33	89,50	87,50	90,00	97,96
50	25,5	11	1	3,19	90,50	89,50	81,00	103,87
50	25,5	11	2	1,67	89,00	87,50	84,00	105,75
50	25,5	11	3	4,15	90,00	90,00	81,00	102,79
50	25,5	13	1	2,34	86,00	83,50	90,00	98,63
50	25,5	13	2	3,03	81,00	80,00	89,00	98,43
50	25,5	13	3	1,52	81,00	78,00	92,00	94,20
50	37,3	11	1	41,29	0,00	0,00	10,00	223,14
50	37,3	11	2	38,54	0,00	0,00	11,00	226,22
50	37,3	11	3	37,35	0,00	0,00	12,00	223,36
50	37,3	13	1	33,68	0,00	0,00	17,00	229,71
50	37,3	13	2	34,69	0,00	0,00	16,00	236,76
50	37,3	13	3	32,69	0,00	0,00	13,00	231,86

APÊNDICE F

Quadro 1F. Valores de germinação (G) e vigor, pelos testes de primeira contagem (PC), tetrazólio (TTZ) e condutividade elétrica (CE), das sementes de feijão, três repetições (Rep), 180 dias após a secagem, para as diferentes combinações de temperatura de secagem (T), teor de umidade inicial (UI) e teor de umidade final (UF) das sementes

T (°C)	UI (%b.u.)	UF (%b.u.)	Rep	G (%)	Vigor		
					PC (%)	TTZ (%)	CE ($\mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$)
35	17,1	11	1	91,00	89,50	88,00	89,93
35	17,1	11	2	87,50	84,00	84,00	94,67
35	17,1	11	3	89,00	87,00	87,00	84,49
35	17,1	13	1	88,50	85,00	93,00	92,15
35	17,1	13	2	88,00	84,50	92,00	94,66
35	17,1	13	3	91,00	87,00	90,00	91,89
35	25,5	11	1	75,00	71,00	88,00	124,29
35	25,5	11	2	76,50	72,50	89,00	125,30
35	25,5	11	3	78,00	75,00	87,00	123,38
35	25,5	13	1	88,50	84,50	90,00	120,15
35	25,5	13	2	86,50	86,50	87,00	123,16
35	25,5	13	3	87,50	85,00	89,00	119,64
35	37,3	11	1	39,50	30,50	55,00	216,42
35	37,3	11	2	41,50	31,00	60,00	242,55
35	37,3	11	3	41,50	37,00	62,00	224,55
35	37,3	13	1	48,00	41,50	51,00	213,20
35	37,3	13	2	46,50	37,50	58,00	209,65
35	37,3	13	3	53,00	42,00	56,00	214,12
40	17,1	11	1	89,00	86,50	82,00	116,51
40	17,1	11	2	89,50	83,50	84,00	122,57
40	17,1	11	3	82,00	78,50	80,00	124,79
40	17,1	13	1	86,50	84,50	88,00	102,22
40	17,1	13	2	84,50	82,50	91,00	99,74
40	17,1	13	3	89,50	87,00	89,00	103,94
40	25,5	11	1	76,50	68,00	80,00	128,61
40	25,5	11	2	72,00	68,50	85,00	121,99
40	25,5	11	3	71,00	65,50	78,00	122,92
40	25,5	13	1	73,50	64,00	68,00	132,40
40	25,5	13	2	60,50	60,50	77,00	129,85
40	25,5	13	3	70,00	64,50	74,00	127,16
40	37,3	11	1	20,50	20,00	27,00	270,61
40	37,3	11	2	21,50	17,50	31,00	261,35
40	37,3	11	3	21,00	18,50	35,00	258,04
40	37,3	13	1	26,00	21,00	22,00	290,32
40	37,3	13	2	25,00	18,00	23,00	285,65
40	37,3	13	3	25,50	19,50	20,00	286,98

Quadro 1F, Cont.

T (°C)	UI (%b.u.)	UF (%b.u.)	Rep	G (%)	Vigor		
					PC (%)	TTZ (%)	CE ($\text{mS.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$)
45	17,1	11	1	81,00	77,50	79,00	139,29
45	17,1	11	2	80,50	78,00	73,00	142,54
45	17,1	11	3	85,00	81,00	80,00	138,34
45	17,1	13	1	86,50	84,00	85,00	106,31
45	17,1	13	2	86,50	83,50	79,00	103,74
45	17,1	13	3	86,00	82,50	78,00	104,88
45	25,5	11	1	72,00	68,00	69,00	127,32
45	25,5	11	2	67,00	62,50	73,00	124,42

45	25,5	11	3	70,50	65,00	73,00	126,77
45	25,5	13	1	59,00	59,00	83,00	125,67
45	25,5	13	2	66,00	66,00	76,00	126,46
45	25,5	13	3	60,00	54,50	76,00	126,64
45	37,3	11	1	9,50	2,00	24,00	360,33
45	37,3	11	2	9,00	1,50	27,00	378,51
45	37,3	11	3	7,00	2,00	28,00	361,16
45	37,3	13	1	3,00	0,00	12,00	284,81
45	37,3	13	2	7,00	0,00	12,00	301,30
45	37,3	13	3	5,00	0,00	15,00	328,52
50	17,1	11	1	82,00	78,00	72,00	136,86
50	17,1	11	2	85,00	82,00	75,00	141,07
50	17,1	11	3	83,00	80,00	77,00	136,85
50	17,1	13	1	84,00	79,50	81,00	134,66
50	17,1	13	2	81,50	78,50	84,00	139,76
50	17,1	13	3	87,50	86,00	84,00	130,31
50	25,5	11	1	60,50	55,00	66,00	140,85
50	25,5	11	2	70,00	65,50	73,00	142,75
50	25,5	11	3	71,50	67,00	64,00	142,17
50	25,5	13	1	65,50	63,00	58,00	130,95
50	25,5	13	2	69,50	66,50	51,00	132,64
50	25,5	13	3	63,00	61,00	50,00	134,95
50	37,3	11	1	0,00	0,00	7,00	330,36
50	37,3	11	2	0,00	0,00	6,00	333,32
50	37,3	11	3	0,00	0,00	8,00	333,92
50	37,3	13	1	0,00	0,00	3,00	318,02
50	37,3	13	2	0,00	0,00	4,00	322,29
50	37,3	13	3	0,00	0,00	4,00	311,07

APÊNDICE G

Quadro 1G. Resumo da análise de variância da regressão dos parâmetros "k" e "n" da equação de Page, em função da temperatura do ar de secagem e teor de umidade inicial, para o teor de umidade final de 11 % b.u.

Causas da Variação	k		n	
	GL	QM	GL	QM
Devido a Regressão	5	0,018692**	3	0,002888**
Independente	6	0,000240	8	0,000041

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Quadro 2G. Resumo da análise de variância da regressão dos parâmetros "k" e "n" da equação de Page, em função da temperatura do ar de secagem e teor de umidade inicial, para o teor de umidade final de 13 % b.u.

Causas da Variação	k		n	
	GL	QM	GL	QM
Devido a regressão	4	0,020928**	4	0,002859**
Independente	7	0,000391	7	0,000128

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.