

CINÉTICA DE SECAGEM E QUALIDADE DE SEMENTES DE FEIJÃO

Ednilton Tavares de Andrade¹

Paulo Cesar Correa²

Luciana Pinto Teixeira³

Roberto Guimarães Pereira⁴

Juliana de Freitas Calomeni⁵

Resumo: A secagem é, dentre as práticas de pós-colheita, uma das mais importantes, pois tem como finalidade: diminuir o teor de água do produto, permitir a armazenagem por períodos mais longos sem o perigo de deterioração do produto; antecipar a colheita; manter o poder germinativo por longos períodos; impedir o crescimento de microorganismos e insetos; minimizar a perda de produto no campo; e reduzir o volume e o peso a ser transportado. Este trabalho teve como objetivos a determinação das curvas de secagem de sementes de feijão em camada fina a partir de diferentes teores de água inicial e final de secagem, ajustar modelos de secagem aos dados obtidos, analisar a taxa de redução de água durante o processo e verificar os efeitos imediato e latente da secagem sobre a germinação e vigor dessas sementes. O produto foi exposto à temperatura de secagem de 35°C para três níveis de teores de água inicial, 33,4%; 29,4% e 25,1% b.u., e dois níveis de teores de água final, 11% b.u. e 13% b.u. O modelo que melhor representou a secagem das sementes de feijão foi o dos Resíduos Sucessivos com dois termos, apresentando coeficientes de determinação acima de 99,8%. Os resultados indicaram que as secagens até o teor de água final de 13% b.u., e as com teores de água iniciais de 25,1% e 29,4% b.u. foram as que obtiveram melhores resultados para os testes de germinação e vigor, sendo então esta a faixa de teores de água recomendados para a secagem de feijão a fim de se obter uma melhor qualidade final do produto.

Palavras-chave: Feijão, Secagem, Qualidade.

Abstract: The drying is, among the post-harvest practices, one of the most important, because has as purpose to decrease of the moisture contents of the product. This work had as objectives the determination of the curves of drying of bean seeds in thin layer drying from different initial and final moisture contents, adjust drying models, analyze the rate of reduction of water during the process, and evaluate the immediate and latent effects of the drying on germination and vigor of those seeds. The product was exposed the temperature of drying of 35°C for three levels of initial moisture content, of 33.4%, 29.4% and 25.1% b.w., and two levels of final moisture content, of 11% and 13% b.w. The model that best represented the drying of the bean seeds was it of the Successive Residues with two terms, presenting determination coefficients above of 99.8%. The results indicated that the drying until the final moisture content of 13% b.w., and with initial moisture content of 25.1% and 29.4% b.w. were the ones that obtained better results for the germination and vigor tests, being then this the band of the moisture content recommended for bean drying of the obtain a better final quality of the product.

Keywords: Bean, Drying, Quality.

¹ UFF/Niterói, ednilton@vm.uff.br.

² UFV/Viçosa

^{3,4} UFF/Niterói

⁵ Bureau Veritas - RJ

1. INTRODUÇÃO

Para um aproveitamento ideal dos grãos durante a colheita, ou seja, um máximo teor de matéria seca, qualidade superior e valor de mercado, a secagem deveria ser realizada no momento da maturidade fisiológica dos grãos. No entanto, neste estágio os grãos apresentam alto teor de água estando sujeitos a danos mecânicos nas demais operações durante o processamento, além de acelerada deterioração para o armazenamento.

Dentro do grão, a água pode estabelecer, segundo CARVALHO (1994), pelo menos três tipos de ligações, tipos esses definidos pela força (tamanho e tipo de força) com que a água se encontra ligada à superfície de macromoléculas. A água “presa” compreende aquela entre 0-27%. Onde de 0-5%, a água se encontraria como uma só camada de moléculas em torno das partículas coloidais, tratando-se de uma união muito forte, difícil de ser desfeita. Entre 5-13% a água se encontraria no que o autor chama de camada polimolecular, ou seja, é uma camada que resulta da deposição de moléculas de água uma sobre a outra. De 13-27%, a água que se prende à semente estaria em forma líquida, sob tensão osmótica. Acima de 27%, ter-se-ia a água livre.

Para HUNT e PIXTON (1974) a água presa teria a designação geral de água adsorvida (forças de atração molecular – natureza química e física), que seria aquela proveniente de uma reunião mais profunda com os componentes do grão. As moléculas do grão, principalmente os carboidratos e as proteínas, interagem com a água e o resultado final é a modificação de ambas as moléculas, ficando diferentes de seus estados originais. Essa interação entre as duas substâncias (água e macromolécula) recebe o nome geral de sorção e resulta tanto da entrada (sorção) como

da saída (dessorção) de água da semente.

Já, a água absorvida (forças tipo capilar – natureza física) seria aquela de ligação mais fraca, localizada nos espaços intergranulares e dentro dos poros do material. Nesta água absorvida atuam apenas forças capilares e a união água/semente seria tão fraca que a água manteria todas as suas propriedades do estado livre. Nesse tipo de união, as moléculas funcionam apenas como estrutura de suporte.

Para os estudos de secagem e armazenamento, a água que realmente interessa é a compreendida entre a faixa de 0-25% (água adsorvida) (HUNT e PIXTON, 1974).

Para um armazenamento de grãos adequado, parte da água contida no grão, após a colheita, precisa ser removida. A secagem é a etapa, dentro do processamento de grãos, que removerá o excesso de água de forma a propiciar condições adequadas para o beneficiamento, armazenamento e comercialização. Ela é, dentre as práticas de pós-colheita, uma das mais importantes, pois ao diminuir o teor de água do produto reduz o risco de infestação por microorganismos e a ocorrência de reações enzimáticas preservando-lhes a qualidade, o valor nutritivo e ainda assegurando o poder germinativo.

O teor de água final para o armazenamento é o valor máximo com o qual o produto pode ser armazenado por períodos pré-determinados, sem que ocorram deteriorações. Este teor de água varia conforme o tipo de produto. Os grãos, de modo geral, têm sua faixa ótima de teores de água para armazenamento compreendida entre 11 e 13%.

A importância da secagem de produtos agrícolas aumenta na medida em que cresce a produção, devido as seguintes vantagens:

- Permite a armazenagem por períodos mais longos sem o perigo de deterioração do produto;
- Permite antecipar a colheita;
- O poder germinativo é mantido por longos períodos;
- Impede o crescimento de microorganismos e insetos;
- Minimiza a perda de produto no campo;
- Redução do volume e do peso a ser transportado.

A redução do teor de água é obtida pela movimentação da água decorrente de uma diferença de pressão de vapor d'água, entre a superfície do produto a ser seco e o ar que o envolve. A condição para que um produto seja submetido ao processo de secagem é que a pressão de vapor sobre a superfície do produto (P_g) seja maior que a pressão do vapor d'água no ar (P_a) de secagem (ANDRADE, 2003; JAYAS et al., 1996).

Os parâmetros que influenciam na taxa de secagem são: temperatura e umidade relativa do ar ambiente; temperatura e fluxo do ar de secagem; teor de água inicial; histórico do produto; fluxo do produto no secador.

O feijão é uma leguminosa totalmente inserida na cultura do brasileiro, porém é uma cultura que apresenta altos riscos de produção e de mercado, elevados níveis de flutuação de produtividade da cultura e dos preços em nível de produtor, entre outros.

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.

Alguns autores 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 a temperatura de

secagem e teores de água inicial e final das sementes, dentre outros fatores.

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, teor de água inicial e teor de água final, durante o processo de secagem, sobre a qualidade de sementes de feijão.

Na literatura existem várias equações teóricas, semi-teóricas e empíricas para descrever o fenômeno de secagem em camadas finas. LEWIS em 1921, citado em BROOKER et al. (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 água do produto e o teor de água esperado do material em equilíbrio com ar de secagem, conforme a expressão.

$$dU = -\frac{k}{dt} (U - U_e) \quad (1)$$

em que:

U = teor de água médio no produto no tempo (t), decimal, b.s;

U_e = teor de água de equilíbrio do produto, decimal, b.s;

t = tempo de secagem em horas;

k = constante de secagem, h^{-1} .

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

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

em que:

RU = razão de umidade, adimensional;

U_0 = teor de água inicial, decimal, b.s;

Esta equação tem sido aplicada satisfatoriamente em alguns estudos para descrever a secagem de grãos e sementes em camadas finas (BALA e WOODS, 1992; BALA e WOODS, 1984; BROOKER, 1992; CLASER, 1995; ANDRADE et al., 2003). 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 al. (1981) para descrever a secagem de milho em camadas finas. O modelo empírico foi apresentado na forma:

$$RU = \exp(-k \cdot t^n) \quad (3)$$

em que:

k = ((A) exp(-(B)/(t))) e “n” são parâmetros empíricos e adimensionais de secagem.

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

Outro modelo muito utilizado na representação da secagem de sementes é o dos Resíduos Sucessivos, o qual deve previamente estabelecer o número de termos que terá a modelagem.

$$RU = a \exp(-(b \exp(-c/T)) t) + d \exp(-(e \exp(-f/T)) t) \quad (4)$$

em que:

t = tempo (minuto);

k, a, b, c, d, e, f = constantes que dependem do produto.

SATHLER (1979) realizando a secagem de sementes de feijão com teor de água 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-se ainda que os parâmetros “k” e “n” não dependem da umidade relativa do ar de secagem e “k” é função da temperatura.

Baseado nas considerações expostas anteriormente, este trabalho teve por objetivos: Determinar as curvas de secagem de sementes de feijão em camada fina com diferentes teores de água inicial e final, ajustar modelos de secagem aos dados obtidos, analisar a taxa de redução de água (TRA) durante o processo, e avaliar o efeito imediato e latente da temperatura de secagem sobre a germinação e vigor de sementes de feijão, em diferentes teores de água inicial e final.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente da Universidade Federal Fluminense, Niterói – RJ, no Laboratório de Armazenamento e Processamento 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, Viçosa - MG.

Foram utilizadas sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade “Ouro Negro 1992”, procedentes do Município de Cajuri - MG. As amostras foram colhidas e trilhadas manualmente. Inicialmente, foram colhidas três amostras de sementes com diferentes teores de água (33,4; 29,4 e 25,1% b.u.). Para cada teor de água inicial, foram preparadas

amostras acondicionadas em sacos de polietileno e armazenadas em câmara fria à temperatura de, aproximadamente, 5°C por 30 dias, até a realização da secagem.

Durante o processo de debulha manual, as sementes imaturas, deterioradas ou danificadas, foram eliminadas, para se obter um material mais homogêneo e de melhor qualidade.

O teor de água inicial das sementes foi determinado pelo método-padrão da estufa, 105 ± 3°C, durante 24 h, com três repetições, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992).

As amostras embaladas, antes da operação de secagem, foram retiradas da câmara fria e deixadas expostas à temperatura ambiente por 12 horas, visando atingir o equilíbrio térmico.

A secagem foi realizada utilizando-se temperatura de, aproximadamente, 35°C, para garantir a qualidade inicial do produto, sendo esta temperatura abaixo do limite estabelecido pela literatura para secagem de sementes de feijão.

Os experimentos de secagem foram feitos no esquema fatorial 3 x 2, sendo três níveis de teores de água inicial de, aproximadamente, 33,4%; 29,4% e 25,1% b.u. e dois níveis de teores de

água final de, aproximadamente, 11% e 13% b.u. Para cada tratamento de secagem foram utilizadas amostras de, aproximadamente, 500g de sementes por repetição.

Os testes de secagem foram realizados utilizando um secador de laboratório (Figura 1 e 2) com controle da temperatura e da vazão do ar. O fluxo de ar foi fornecido por um ventilador axial que conduzia o ar até o plenum, onde fluía em três bandejas de fundo telado e removível, contendo as amostras de sementes.

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, utilizando um anemômetro de lâminas rotativas, adaptado à entrada de ar do ventilador e mantido para todos os tratamentos de secagem em, aproximadamente, 10m³.min⁻¹.m².

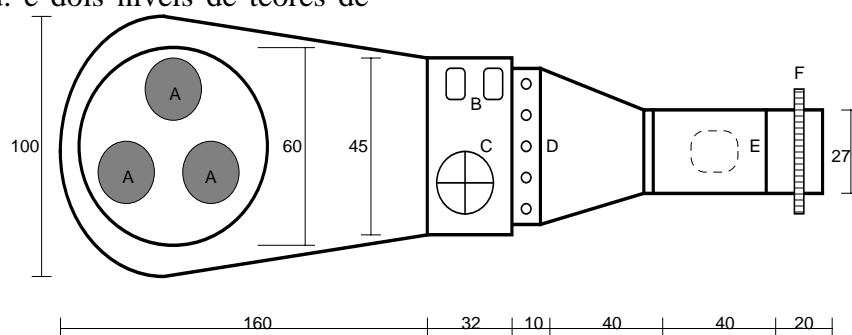


Figura 1 – Vista superior do secador

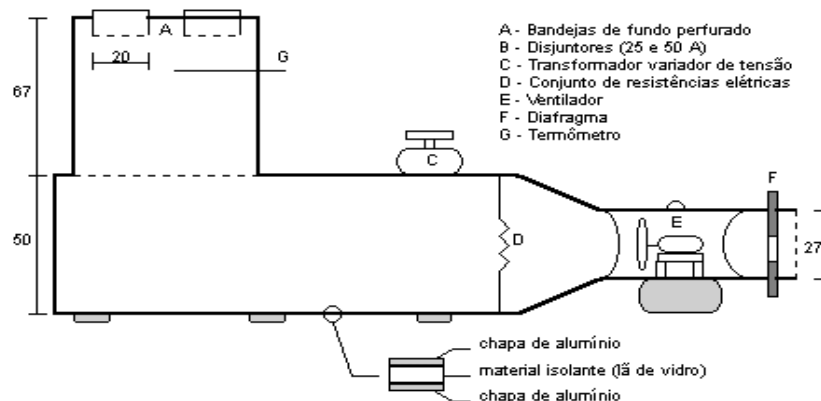


Figura 2 – Vista longitudinal do secador

Para cada tratamento de secagem, a umidade relativa e a temperatura do ar foram registradas por um termohigrógrafo, e a umidade relativa do ar secante foi calculada pelas equações psicrométricas, por meio de um programa computacional denominado GRAPSI.

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:

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

em que:

U_e = teor de água de equilíbrio, % b.s.;

UR = umidade relativa do ar de secagem, decimal;

T = temperatura do ar de secagem, °C.

Durante a operação de secagem foram realizadas pesagens periódicas das amostras, até que estas atingissem o teor de água final pré-estabelecido.

Depois da secagem, as sementes foram mantidas em condições ambientes até atingirem o equilíbrio térmico realizando-se, posteriormente, uma separação visual, com o intuito de obter sementes de feijão aparentemente perfeitas. Todas as sementes foram cuidadosamente homogeneizadas manualmente dentro de sacos de plástico, para evitar a ocorrência de qualquer dano.

Para análise do efeito latente, as sementes foram mantidas em local ENGEVISTA, v. 8, n. 2, p. 83-95, dezembro 2006

arejado, sob condições não-controladas, durante 90 dias. A temperatura e a umidade relativa do ar no local, durante o período de armazenagem, foram monitoradas utilizando-se um termoigrógrafo instalado próximo às embalagens.

As sementes foram fumigadas, com o objetivo de garantir seu estado fitossanitário durante o período de armazenamento. Foi utilizado para este fim o fosfeto de alumínio, aplicado na dosagem de cinco comprimidos de $0,60 \text{ g m}^{-3}$, com um período de exposição de 72 horas.

Os testes de germinação foram realizados imediatamente e depois da armazenagem (90 dias), conforme os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992). Para cada repetição dos tratamentos foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes.

As sementes, tendo como substrato rolo de papel tipo "germitest", umedecido com água deionizada (2,5 vezes o peso do papel), foram colocadas para germinar à temperatura aproximada de 25°C , em um germinador.

Antes de cada teste de germinação as sementes foram tratadas com fungicida (Benlate), proporcionalmente, na dosagem de 1 grama para 1kg de sementes. As avaliações foram realizadas aos cinco e nove dias depois da instalação do teste, e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Na primeira avaliação foram contadas e eliminadas as plântulas normais e as sementes mortas ou infeccionadas que pudessem contaminar as demais.

No nono dia foi realizada a contagem final de plântulas normais, plântulas anormais e sementes mortas ou deterioradas. O resultado da germinação foi expresso pela porcentagem média de plântulas normais das duas avaliações.

Para a avaliação da energia germinativa das sementes, utilizou-se a primeira contagem do teste padrão de germinação. Para tal, no quinto dia depois da montagem do teste, as plântulas normais foram contadas e os resultados expressos em porcentagem.

Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais das curvas de secagem, foi utilizada análise de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton, por meio do programa computacional STATISTICA 5.0. Foram estimados os valores dos parâmetros dos modelos, em função da variável independente temperatura do ar de secagem e teor de água de equilíbrio do produto.

Os dados experimentais foram comparados com os valores estimados por cada modelo, pelo erro médio relativo (P) e erro médio estimado (SE). A capacidade do modelo em descrever com fidelidade o processo físico é inversamente proporcional ao valor de SE, (DRAPER e SMITH, 1981; DOUGLAS e DONALD, 1988; CHEN e MOREY; 1989; CHEN e JAYAS, 1998):

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum \left(\frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right) \quad (6)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (7)$$

em que,

Y = valor observado experimentalmente;

\hat{Y} = valor calculado pelo modelo;

GLR = graus de liberdade do modelo;

O grau de ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais, foi baseado na magnitude do coeficiente de determinação ajustado (variância explicada) e na magnitude dos erros médio relativo e médio estimado.

A taxa de redução de água durante a secagem das sementes de feijão foi determinada por (CORRÊA et al., 2001):

$$TRA = (Ma_o - Ma_i) / (Ms (t_i - t_o)) \quad (8)$$

em que:

TRA = taxa de redução de água;

Ma_o = massa de água total atual;

Ma_i = massa de água total anterior;

Ms = matéria seca;

t_o = tempo total de secagem anterior, (h);

t_i = tempo total de secagem atual, (h).

Os experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, e os dados foram analisados estatisticamente, pela análise de variância e pelo teste de médias de TUKEY, a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os testes de secagem divididos em duas partes distintas, cujos teores de água final foram de 11% b.u. (parte 01) e 13% b.u. (parte 02), tem-se, na Tabela 1, explicitados os dados médios referentes a temperatura, umidade relativa do ar, tempo e Taxa de Redução de Água (TRA) para os diversos tratamentos de secagem.

Tabela 1. Resumo dos parâmetros médios obtidos durante a secagem: temperaturas de secagem, umidade relativa, tempo total de secagem e TRA para os tratamentos.

	Teor de água inicial (%b.u.)	Teor de água final (%b.u.)	Temperatura de secagem (°C)	Temperatura do ar ambiente (°C)	Umidade Relativa (%)	Tempo de secagem (minutos)	TRA Média (kg kg ⁻¹ h ⁻¹)
Parte 01	33,4	11,0	35,0±1,0	25,78	47,7	740	0,0535
	29,4	11,0	35,0±2,0	26,91	47,2	1200	0,0288
	25,1	11,0	35,0±2,0	28,80	48,0	1080	0,0209
Parte 02	33,4	13,0	35,0±2,0	26,08	45,6	660	0,0436
	29,4	13,0	35,0±2,0	24,30	43,9	700	0,0330
	25,1	13,0	35,0±2,0	26,50	42,0	700	0,0247

Tanto em relação a parte 01 como a parte 02, a secagem realizada com teor de água inicial de 33,4%b.u. foi a que alcançou o teor de água final mais rapidamente em relação aos outros teores. Isto deve ter ocorrido devido a falta de um controle mais apurado da temperatura de secagem e da umidade relativa durante o processo de secagem, que sofreram variações devidas as condições ambiente, ou mesmo pela condição estrutural da semente neste elevado teor de água de colheita. Assim, observa-se, pela Tabela 1, que as sementes com teores de água inicial de 33,4% b.u. foram as que apresentaram as maiores taxa de redução de água média (TRA Média). Quando utilizado este parâmetro deve-se tomar cuidado com a consistência e homogeneidade das variáveis utilizadas, pois a variação brusca de uma determinada taxa de redução de água parcial pode ser diluída e encoberta em uma análise geral, não desvendando o estresse momentâneo de secagem sofrido pelas sementes; o que não aconteceu neste estudo.

3.1. CURVAS DE CINÉTICA DE

SECAGEM PARA AS SEMENTES DE FEIJÃO

Depois do estudo das curvas de secagem realizou-se o modelamento matemático dos resultados a fim de obter os coeficientes para a equação de Page. Em relação à modelagem matemática de Page pode-se dizer que os resultados obtidos foram satisfatórios, pois os coeficientes de determinação do modelo foram maiores que 95,5% em todas as curvas. Porém, em relação à análise gráfica, as curvas não pareciam estar ajustadas aos coeficientes encontrados, devido a variações que o modelo não considera. Com isto, resolveu-se fazer uma segunda modelagem utilizando o modelo dos Resíduos Sucessivos com dois termos a fim de que se pudesse obter um melhor ajustamento das curvas aos resultados experimentais. O modelo matemático de Resíduos Sucessivos com dois termos obteve coeficientes de determinação superiores a 99,8% em todas as modelagens, demonstrando, desta forma, uma satisfatória representação do fenômeno, podendo assim ser utilizado em outras aplicações de secagem.

Tabela 2. Estimativa dos coeficientes para os modelos de Page e de Resíduos Sucessivos com dois termos.

	Teores de água (%b.u.)		A		B		N		R ² (%)	SE	P
	Ui	Uf									
Modelo de Page	33,4	11,0	0,072643	0,099723	0,072643		96,6	0,2351	0,1277		
	29,4	11,0	0,062971	0,100654	0,062971		99,9	0,4315	0,3105		
	25,1	11,0	0,062892	0,099685	0,062892		99,9	0,3331	0,2036		
	33,4	13,0	0,064007	0,100230	0,064007		95,5	0,2842	0,1387		
	29,4	13,0	0,061525	0,099551	0,061525		99,9	0,3464	0,1602		
	25,1	13,0	0,057674	0,097966	0,057673		99,9	0,3872	0,1535		
Modelo de Resíduos Sucessivos			a	b	c	d	e	f			
	33,4	11,0	0,149	0,032	-0,27	0,826	0,004	0,037	99,8	0,0360	0,1138

	29,4	11,0	0,259	0,207	66,77	0,703	0,167	150,8	99,9	0,0240	0,0477
	25,1	11,0	0,784	0,003	0,397	0,216	0,030	-0,751	99,9	0,0265	0,1118
	33,4	13,0	0,243	0,018	-0,328	0,745	0,003	0,165	99,9	0,0264	0,0246
	29,4	13,0	0,265	0,020	-1,187	0,730	0,002	-0,469	99,9	0,0163	0,0127
	25,1	13,0	0,751	0,002	-0,098	0,242	0,025	-0,658	99,9	0,0148	0,0095

U_i = Teor de água inicial (colheita) / U_f = Teor de água final (secagem)

Após os estudos dos modelamentos de Page e de Resíduos Sucessivos foi analisada a taxa de redução de água utilizando-se a equação proposta por CORRÊA et al. (2001), para descrever a perda de água por unidade de matéria seca por unidade de tempo.

As Figuras 3 a 8 apresentam as curvas referentes à taxa de redução de água e à Razão de Umidade experimental e simulada (Modelo de Resíduos Sucessivos) para secagem de feijão.

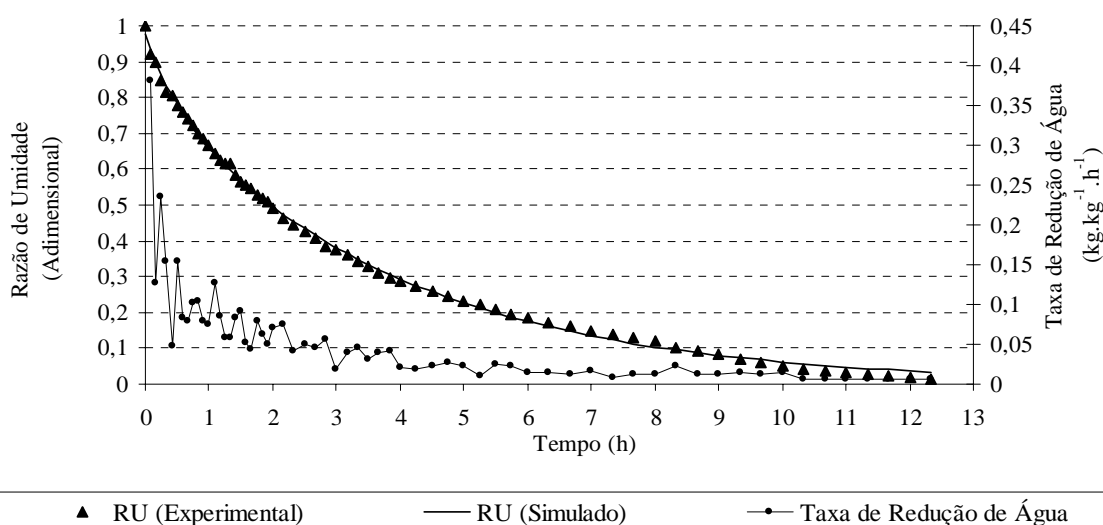


Figura 3 – Curvas de Razão de Umidade, experimental e simulada, e Taxa de Redução de Água para o teor de água inicial de 33,4% b.u. e final de 11% b.u.

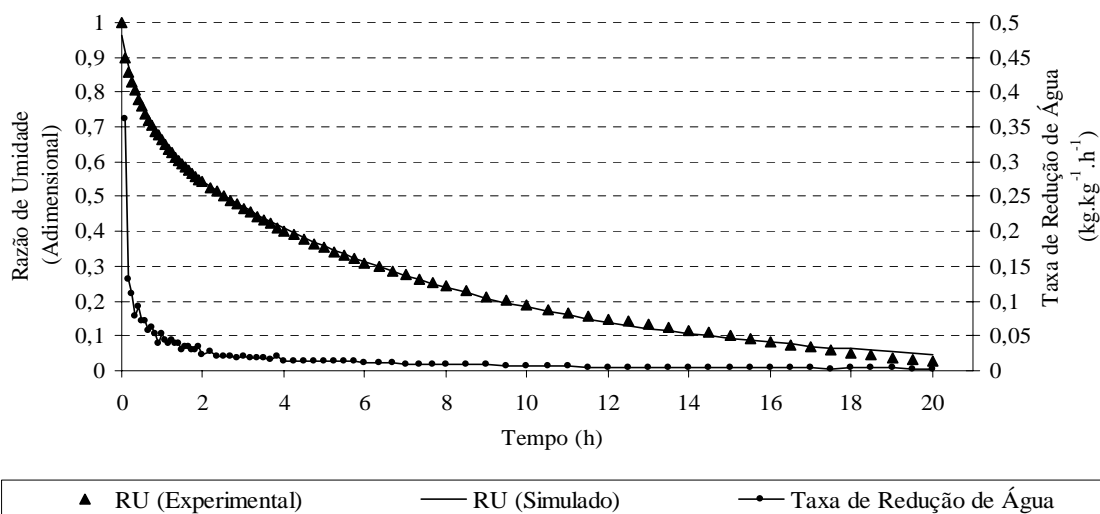


Figura 4 – Curvas de Razão de Umidade, experimental e simulada, e Taxa de Redução de Água para o teor de água inicial de 29,4% b.u. e final de 11% b.u.

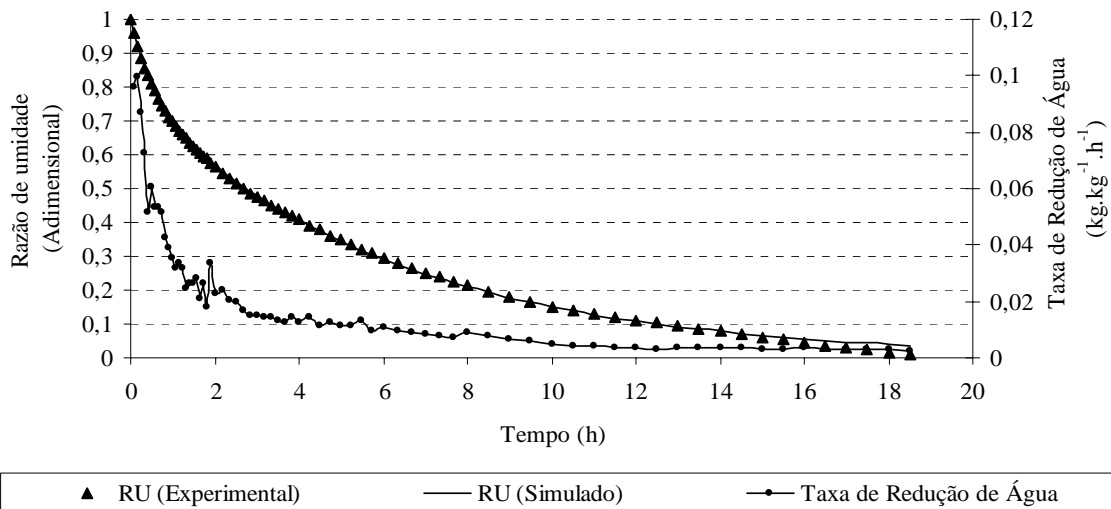


Figura 5 – Curvas de Razão de Umidade, experimental e simulada, e Taxa de Redução de Água para o teor de água inicial de 25,1%b.u. e final de 11%b.u.

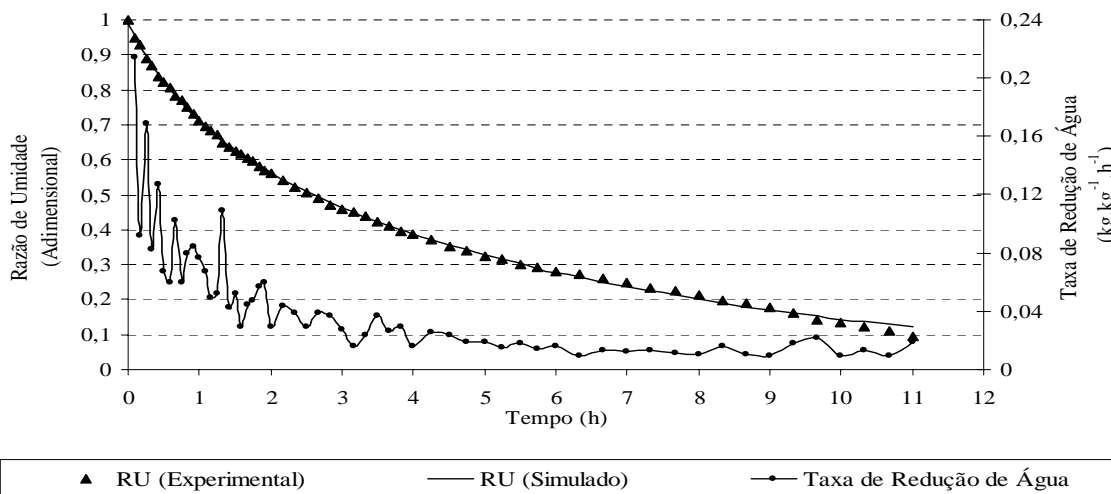


Figura 6 – Curvas de Razão de Umidade, experimental e simulada, e Taxa de Redução de Água para o teor de água inicial de 33,4%b.u. e final de 13%b.u.

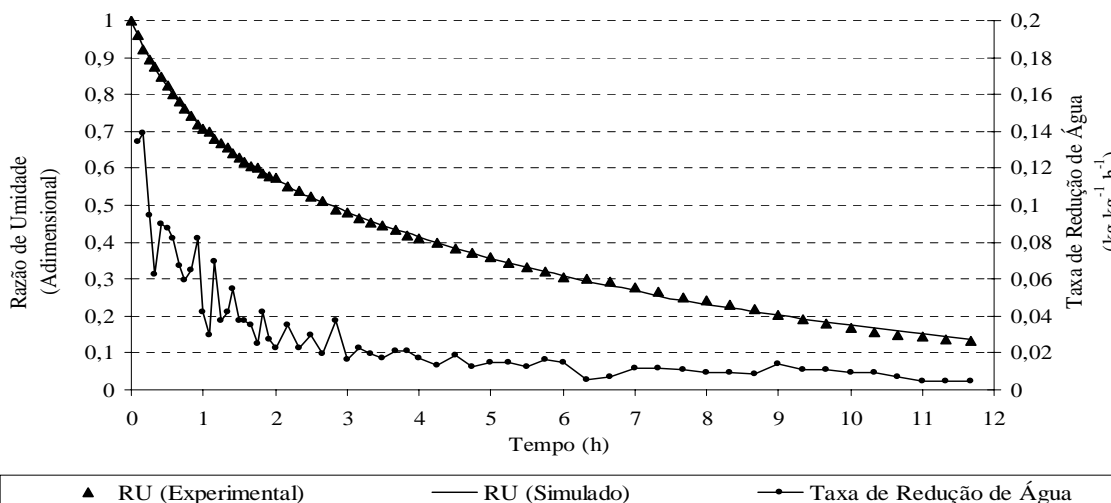


Figura 7 – Curvas de Razão de Umidade, experimental e simulada, e Taxa de Redução de Água para o teor de água inicial de 29,4%b.u. e final de 13%b.u.

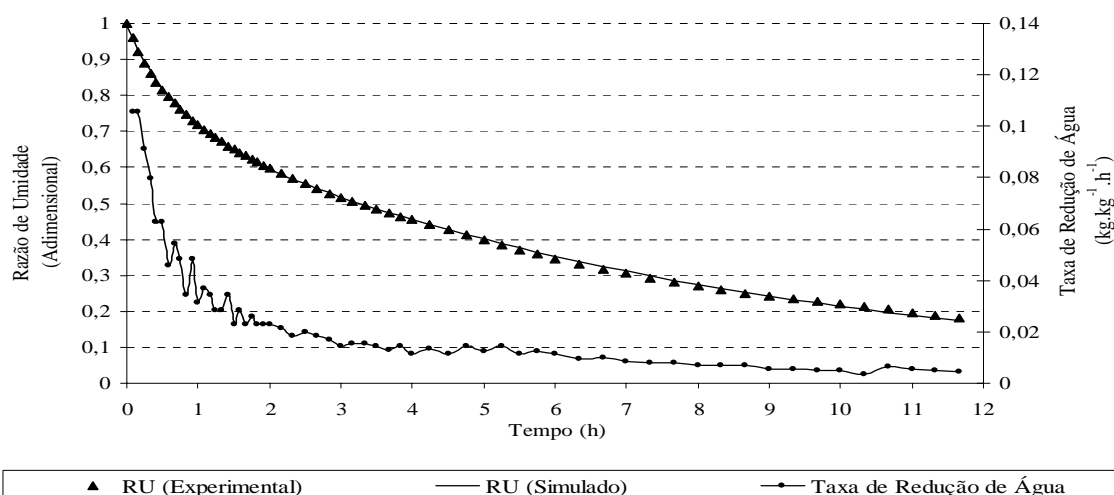


Figura 8 – Curvas de Razão de Umidade, experimental e simulada, e Taxa de Redução de Água para o teor de água inicial de 25,1% b.u. e final de 13% b.u.

3.2. PORCENTAGEM DE GERMINAÇÃO DAS SEMENTES

Observa-se através da análise dos resultados (Tabela 3) que a germinação das sementes de feijão não foi influenciada imediatamente por nenhum dos tratamentos estudados. O teor de água final, praticamente, não compromete a germinação das sementes.

Os valores de germinação após 90 dias de armazenamento (latente) são inferiores aos encontrados

inicialmente (imediate), evidenciando a queda de qualidade das sementes durante o armazenamento.

Em relação à qualidade das sementes podemos dizer que depois de 90 dias de armazenamento, após a secagem, as sementes de feijão apresentaram uma redução na sua qualidade fisiológica. Isto não representa, somente, o efeito direto da secagem sobre a qualidade das sementes, mas, também, uma tendência natural de um tecido vivo.

Tabela 3 – Resultados da germinação inicial (imediate) e depois de 90 dias de armazenagem (latente) (%) de sementes de feijão submetidas a secagem.

U _i (% b.u.)	U _f (% b.u.)	Imediato	Latente	Testemunha
25,1	11	97,50 A a	88,33 A b	97,66 AB a
29,4	11	96,50 A a	89,50 A b	96,83 AB a
33,4	11	95,50 A a	88,50 A b	95,16 B a
25,1	13	98,00 A ab	93,00 A b	98,83 A a
29,4	13	97,83 A a	93,33 A b	97,33 AB a
33,4	13	96,17 A a	91,50 A b	95,16 B b

U_i = Teor de água inicial (colheita) / U_f = Teor de água final (secagem)

* As médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, na coluna, e minúsculas, na linha, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

3.3. POTENCIAL DE VIGOR DAS SEMENTES

Pode-se observar (Tabela 4) que não houve efeito imediate ou latente na qualidade das sementes secadas em

diferentes teores de água finais e iniciais.

Da mesma maneira que no teste de germinação os resultados para

primeira contagem depois de 90 dias de armazenamento foram menores do que para o imediato.

Tabela 4 – Resultados do teste de primeira contagem (imediato) e depois de 90 dias de armazenagem (latente) (%) de sementes de feijão submetidas a secagem a teores de água finais de 11 e 13% b.u.

Ui(%b.u.)	Uf(%b.u.)	Imediato	Latente	Testemunha
25,1	11	97,50 A a	86,00 A b	97,50 A a
29,4	11	96,33 AB a	86,50 A b	96,83 A a
33,4	11	95,50 AB a	82,00 A b	95,17 A a
25,1	13	97,66 A a	88,67 A b	98,17 A a
29,4	13	97,83 A a	87,83 A b	97,00 A a
33,4	13	93,83 B a	85,67 A b	95,33 A a

Ui = Teor de água inicial (colheita) / Uf = Teor de água final (secagem)

*As médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, na coluna, e minúsculas, na linha, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Pelos resultados, observa-se que o tratamento de secagem com teor de água inicial de 33,4% b.u. e final de 11% b.u. apresentou menor valor numérico para germinação das sementes. Já para o vigor o tratamento secado a 11% b.u. foi o que apresentou o pior resultado.

4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, chegou-se às seguintes conclusões:

O modelo de Page, com os parâmetros “k” e “n” ajustados exponencialmente em função da temperatura do ar de secagem e do teor de água inicial do produto, descreve satisfatoriamente o processo de secagem de sementes de feijão.

O modelo de Resíduos Sucessivos pode ser empregado para simular o processo de secagem de feijão obtendo resultados satisfatórios (coeficientes de determinação acima de 99,8%), sendo neste caso o modelo que melhor se ajustou;

As sementes de feijão que sofreram a secagem até o teor de água final de 13% b.u., de maneira geral, apresentaram resultados ligeiramente melhores em relação a germinação e vigor, sendo este teor de água final o

recomendado para a secagem de feijão.

Os teores de água inicial de 25,1 e 29,4% b.u. foram os que obtiveram melhores resultados tanto para os testes de germinação como para os de vigor.

As sementes de feijão com teor de água inicial de 33,4% b.u. submetidas a secagem até o teor de água final de 11% b.u. foram as que obtiveram menores valores numéricos de germinação e vigor.

5. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E. T. Qualidade até o final: Secagem certa. Cultivar Máquinas. v.III, n.25, 15p, 2003.
- ANDRADE, E. T. ; BORÉM, F. M. ; HARDOIM, P. R. . Cinética de secagem do café cereja, bóia e cereja desmucilado, em quatro diferentes tipos de terreiros. Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa, v. 7, p. 37-43, 2003.
- BACH, D.B. Curvas de equilíbrio higroscópico de feijão preto (Phaseolus vulgaris L.). 1979. Viçosa, MG: UFV, 39p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola),Universidade Federal de Viçosa.
- BALA, B.K.; WOODS, J.L. Thin layer drying models for malt. Journal of Food

- Engineering, London, v.16, n.3, p.239-249, 1992.
- BALA, B.K.; WOODS, J.L. Simulation of deep bed malt drying. *Journal Agricultural Engineering Research*, New York, v.30, n.3, p.235-244, 1984.
- BRASIL. Regra para análise de sementes. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Brasília, DF: MARA, 365p, 1992.
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. Drying and storage of grains and oilseeds. Westport: The AVI Publishing Company, 1992. 450 p.
- CARVALHO, N.M. A secagem de sementes. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 1994. 165p.
- CHEN, C.; JAYAS, D.S. Evaluation of the GAB equation for the isotherms of agricultural products. *Transactions of ASAE*, St. Joseph, v.41, n.6, p.1755-1760, 1998.
- CHEN, C.; MOREY, R.V. Comparison of four EMC/ERH equations. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.32, n.3, p. 983-990, 1989.
- CHIN, C.S.; JOHSON, W.H. Kinetics of moisture movement in hygroscopic materials. *Transactions of the ASAE*, St Joseph, v. 12, n1, p.109-113, 1969.
- CLASER, C.A. Efeito da temperatura e da umidade relativa do ar de secagem na germinação de sementes de soja. 1995. Viçosa, MG:UFV, 32p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa.
- CORRÊA, P.C.; MACHADO, P.F.; ANDRADE, E.T. Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho-pipoca. *Ciência e Agrotecnologia*. Lavras, v.25, n.1, 2001, p.134-142.
- DRAPER, N.R.; SMITH, H. Applied regression analysis. New York: Weley series in probability and mathematical ENGEVISTA, v. 8, n. 2, p. 83-95, dezembro 2006
- statistics, John Wiley & Sons, 709p, 1981.
- DOUGLAS, M.; DONALD, G.W. Non linear regression analysis and its applications. New York: Weley series in probability and mathematical statistics, John Wiley & Sons., 1988. 365p.
- HUNT, W.H.; PIXTON, S.W. Moisture: its significance, behavior, and measurement. In: CHRISTENSEN, C.M. Storage of cereal grain and their products. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1974. p. 1-55.
- JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G.; MUIR, W.E. Stored-Grain Ecosystems. New York: Marcel Dekker, INC., 757p, 1995.
- MISRA, M.K.; BROOKER, D.B. Thin-layer drying and rewetting equations for shelled yellow corn. *Transaction of the ASAE*, St. Joseph, Michigan, v.12, n.8, p.1254-1260, 1980.
- SATHLER, M.G.B. Secagem de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em camadas finas, a baixas temperaturas e seus efeitos na germinação das sementes. 1979. Viçosa, MG:UFV, 39p. Dissertação (Mestrado de Engenharia Agrícola)–Universidade Federal de Viçosa.
- WHITE, G.M., BRIDGES, T.C., LOEWER, J. et al. Thin-layer drying model fo soybeans. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v24, n.6, p.1643-1646, 1981.