

## CINÉTICA DA SECAGEM NATURAL DE SEMENTES DE *Amaranthus cruentus* BRS ALEGRIA

P. M. CRIVELARI COSTA<sup>1</sup>, A. BIANCHINI<sup>2</sup>, C. CANEPPELE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agrônoma, Profa. Mestre, Depto. de Agronomia, Faculdade de Ciências Biológicas e Agrárias, UNEMAT, Alta Floresta – MT, patriciacrivellari@gmail.com.

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Solos e Engenharia Rural, FAAZ/UFMT, Cuiabá – MT.

Apresentado no  
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020  
23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

**RESUMO:** A colheita de sementes com teor de água acima do recomendado é frequentemente observada na prática em diversas espécies, e para o amaranto não é diferente, sendo necessária a secagem para preservação da sua qualidade. Deste modo, o presente trabalho teve por objetivo estudar a cinética de secagem de sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, por meio de secagem natural, a pleno sol e a sombra. Foram acompanhadas as temperaturas do ar e da massa de semente e as umidades relativas. A temperatura de secagem influencia fortemente a cinética de secagem de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria e a equação de Midilli modificado obteve o melhor ajuste. Para secagem em pleno sol, a temperatura média da massa de sementes foi de 40 °C e o tempo de secagem foi de 15 horas, sendo influenciado pela alta umidade relativa do ar, que aumentou o tempo de secagem. Já para a secagem a sombra, a temperatura média da massa de sementes foi de 30 °C e o tempo de secagem foi de 164 horas até o teor de água de 13%, considerado a umidade de equilíbrio.

**PALAVRAS-CHAVE:** amaranto, tempo de secagem, umidade relativa do ar.

### KINETICS OF NATURAL DRYING OF *Amaranthus cruentus* BRS ALEGRIA SEEDS

**ABSTRACT:** The harvest of seeds with water content above the recommended is often observed in practice, for several species, and for amaranth it is no different, requiring drying to preserve its quality. Thus, the present work aimed to study the drying kinetics of *Amaranthus cruentus* BRS Alegria seeds, by means of natural drying, in full sun and shade. Air and seed mass temperatures and relative humidity were monitored. The drying temperature strongly influences the drying kinetics of *Amaranthus cruentus* BRS Alegria seeds and the modified Midilli equation obtained the best fit. For drying in full sun, the average temperature of the seed mass was 40 °C and the drying time was 15 hours, being influenced by the high relative humidity of the air, which increased the drying time. As for shade drying, the average seed mass temperature was 30 °C and the drying time was 164 hours until the water content was 13%, considering the equilibrium humidity.

**KEYWORDS:** amaranth, drying time, relative humidity.

**INTRODUÇÃO:** O amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) é uma planta da família *Amaranthaceae* que pode apresentar até 2,0 m de altura, com a inflorescência de até 0,6 m. Suas sementes têm aproximadamente 1,0 mm de diâmetro e são ricas em aminoácidos essenciais. Devido ao pequeno tamanho das sementes e por serem deiscentes (Spehar et al.,

2003), a antecipação da colheita se faz necessária. Esta é geralmente feita com teor de água mais alto, próximo dos 40%, sendo necessária a secagem (Abalone et al., 2006; Ronoh et al., 2009). Em pequena escala, sementes de amaranto podem ser secas naturalmente com a exposição ao ar ambiente. O método natural é o que mais contribui para a manutenção das qualidades originais e os mais adequados para secagem de sementes (Afonso et al., 2008), além de serem meios simples e baratos para o produtor, com menor disponibilidade de investimento. Este método ainda tem como vantagem a ação germicida dos raios solares e a não poluição (Corrêa et al., 2008). Porém, é necessário cuidados ao realizá-la, pois a secagem natural é pouco segura devido a dependência das condições climáticas (Afonso et al., 2008). O estudo sobre a cinética de secagem das sementes do amaranto tem despertado interesse de vários pesquisadores (Abalone et al., 2006; Ronoh et al., 2009; Calzetta Resio et al., 2010). O estudo de sistemas de secagem, seu dimensionamento, otimização e a determinação da viabilidade de sua aplicação comercial, podem ser feitos por meio de simulação matemática cujo princípio se fundamenta na secagem de camadas delgadas do produto, utilizando um modelo matemático que representa satisfatoriamente a perda de água. Assim, o objetivo deste trabalho foi o de estudar a cinética da secagem natural de sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, a pleno sol e a sombra.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi realizado no Laboratório de Máquinas Agrícolas e Motores (LAMAM), na Faculdade de Agronomia e Zootecnia (FAAZ), localizado na Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, Brasil (UFMT - *Campus* Cuiabá). Foram utilizadas sementes de amaranto (*Amaranthus cruentus*), cultivar BRS Alegria, oriundas da safra 2018, conforme descrito por Silva (2019). A colheita foi realizada aos 90 dias após semeadura (médias de 29,4 °C e 62,5% de umidade relativa). As panículas foram colhidas manualmente, com 37% de água, logo após atingirem o ponto de maturação fisiológica (Silva, 2019), para diminuir a possibilidade de perdas por deiscência (Spehar et al., 2003). No dia seguinte, as panículas foram dispostas a pleno sol sobre lona plástica de cor preta por duas horas, nas condições climáticas de 28,6°C e 70,8% de umidade relativa (INMET, 2020), para facilitar o desprendimento das sementes e reduzir danos por amassamento durante a trilha. Logo após, as sementes foram trilhadas mecanicamente em debulhadora de cereais adaptada. Estas foram acondicionadas em sacos de ráfia e transportadas da Fazenda Experimental para o laboratório onde foram manuseadas. Devido a quantidade de palha presente, as sementes foram passadas em soprador de ventilação forçada com fluxo de contracorrentes na velocidade de 4,5 m s<sup>-1</sup> e temperatura de 30 °C. Durante o período de preparação das sementes para a realização do teste de secagem, estas ficaram armazenadas em condições de laboratório, observadas conforme dados de tempo obtidos pelo INMET, estação convencional de Cuiabá do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (INMET, 2020). O período em que as sementes ficaram nessas condições foram de 01 a 22 de outubro de 2018 (Figura 1). Amostras representativas foram retiradas durante os processos pós-colheita para determinação do teor de água das sementes. Este foi realizado pelo método de estufa à 105 ± 3°C por 24 horas (Brasil, 2009). A secagem foi realizada com massa de sementes estáticas, espessura média de 25 ± 2 mm, sobre peneiras de aço inox, com 200 mm de diâmetro e malha inferior a um milímetro. A massa média de cada amostra foi de 0,62 kg. Durante a secagem foram feitas pesagens das peneiras, em balança semi-analítica (Shimadzu) com precisão de duas casas decimais, para verificar a perda de água nas sementes por diferença de peso, como descrito por Celestino (2010). Foi utilizado o sistema de secagem natural em leito fixo, a pleno sol e a sombra.

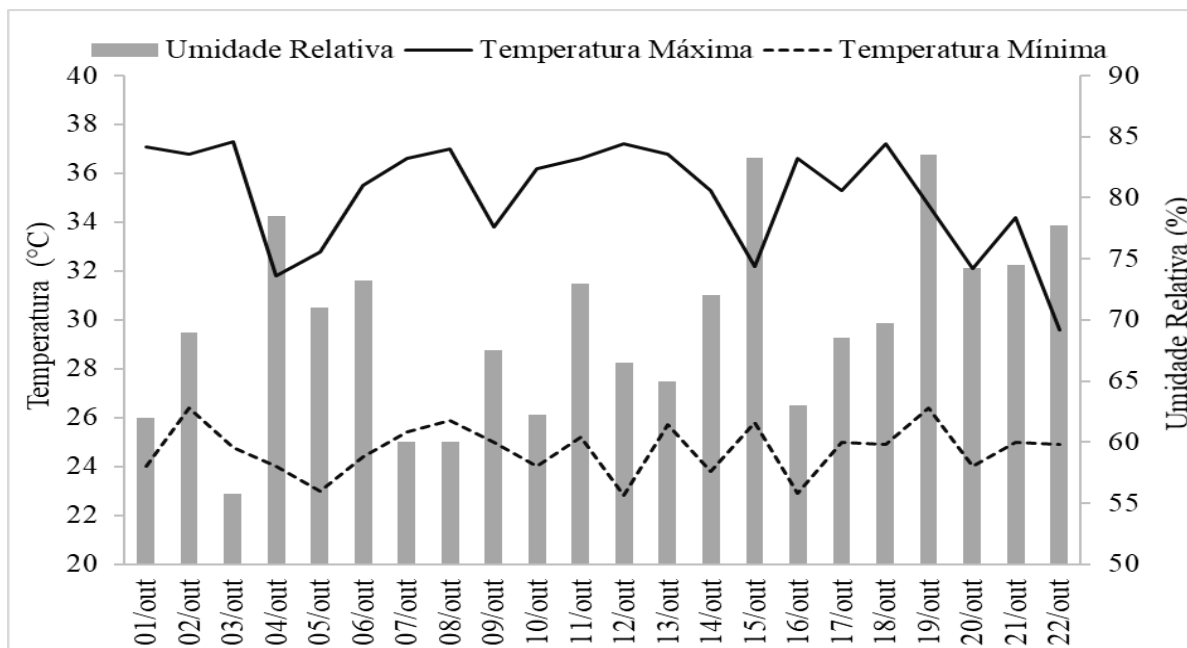


FIGURA 1. Temperaturas máxima e mínima e umidade relativa para Cuiabá, durante o período de armazenamento das sementes em condições de laboratório. Fonte: INMET, 2020.

As seguintes determinações foram realizadas durante o processo de secagem: temperatura de secagem, em °C; umidade relativa do ar, em %; velocidade média do vento, em m s<sup>-1</sup>. Estas variáveis foram determinadas utilizando-se um termo-higro-anemômetro portátil calibrado (Icel, modelo WN-1800). A temperatura da massa de sementes, em °C, foi determinada com termômetro de bulbo de mercúrio. Para secagem a pleno sol, também foi observado os dados de insolação, computados em 5,9 e 7,1 horas para os dias 6 e 7 de outubro de 2018, respectivamente (INMET, 2020). O tempo de leitura para as sementes secas a pleno sol foram realizadas a cada 1 h, seguidas de duas leituras de 1,5 h e as demais foram realizadas a cada 3 h até o final da secagem. Fez-se secagem durante 15 h, divididas em dois períodos de 7,5 h cada um (dois dias), devido a períodos nublados durante a realização do experimento. Entre um período e outro, as sementes foram mantidas em dessecador, sem sílica gel, para manter o teor de água. Para sementes secas a sombra, as primeiras leituras foram a cada 1 h, e passou-se a realizá-las a cada 12 h (nos segundo ao quinto dia) e 24 h até o equilíbrio com o ambiente. O tempo necessário para obter cada leitura foi entre 5 e 15 minutos, e considerou-se parte do processo de secagem, não sendo descontado do tempo total. Para comparação entre as curvas de secagem, foi necessário obter as razões de umidade (RU) do *Amaranthus cruentus* BRS Alegria (Equação 1) para cada método de secagem. Foi necessário também calcular a umidade de equilíbrio (Ue). Esta foi obtida pela equação de Henderson modificada (Equação 2), indicada por Pagano e Mascheroni (2005) como sendo uma das que melhor representa o fenômeno da dessecção nas sementes de *Amaranthus cruentus*, para uma ampla gama de temperaturas e umidades relativas e, também recomendada por Abalone et al. (2006).

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (1)$$

$$U_e = \left[ \frac{\ln(1 - RH)}{-1,1499 \times (T + 24,2105)} \right]^{1/1,9639} \quad (2)$$

Em que,

RU - razão de umidade, adimensional;

U - teor de água do produto no tempo T, decimal;

Ue - teor de água de equilíbrio do produto, decimal;  
 Ui - teor de água inicial do produto, decimal;  
 RH - umidade relativa medida na saída do secador, decimal; e,  
 T - temperatura do ar de secagem, em °C.

As curvas de secagem foram obtidas pela conversão dos dados referentes à perda de água no parâmetro adimensional razão de teor de água (RU). A razão do teor de água é essencial para descrever diferentes modelos de secagem em camada delgada. A cada tempo de secagem um teor de água é correlacionado com o teor de água inicial e o teor de água de equilíbrio, para condições específicas de secagem. Dessa forma, em todos os modelos matemáticos testados os valores de razão de umidade em função do tempo de secagem foram ajustados aos modelos, descrevendo a cinética de secagem. Aos dados de secagem foram ajustados os modelos matemáticos para prever a cinética de secagem de sementes de *Amaranthus cruentus* em camada delgada propostos na literatura (Abalone et al., 2006; Ronoh et al, 2009; Calzetta Resio et al, 2010) e outros grãos (Corrêa et al., 2010; Mendonça et al., 2015), cujas expressões estão apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem.  
**Mathematical models used to predict the drying phenomenon.**

Nome do modelo	Equação do modelo	Equação
Aproximação de Difusão	$RU = A \exp(-kT) + (1 - A) \exp(-k \cdot B \cdot T)$	(3)
Dois termos	$RU = A \exp(-k_0T) + B \exp(-k_1T)$	(4)
Dois termos exponencial	$RU = A \exp(-kT) + (1 - A) \exp(-k \cdot A \cdot T)$	(5)
Henderson e Pabis	$RU = A \exp(-kT)$	(6)
Henderson e Pabis Modificado	$RU = A \exp(-kT) + B \exp(-k_0T) + C \exp(-k_1T)$	(7)
Logarítmico	$RU = A \exp(-kT) + B$	(8)
Midilli	$RU = A \exp(-kT^C) + BT$	(9)
Midilli Modificado	$RU = \exp(-kT^C) + BT$	(10)
Newton	$RU = \exp(-kT)$	(11)
Page	$RU = \exp(-kT^C)$	(12)
Page Modificado	$RU = \exp[-(kT)^C]$	(13)
Thompson	$RU = \exp\{[-A - (A^2 + 4BT)^{0.5}]/2B\}$	(14)
Verna	$RU = A \exp(-kT) + (1 - A) \exp(-k_1T)$	(15)
Wang-Singh	$RU = kT^2 + AT + 1$	(16)

RU - razão de umidade, adimensional; T - tempo, em horas; A, B e C - coeficientes dos modelos, adimensionais; k, k<sub>0</sub> e k<sub>1</sub> - constantes de secagem, em h<sup>-1</sup>.

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais basearam-se nos parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), desvio padrão da estimativa (SE), magnitude do erro médio relativo (P) e a tendência de distribuição dos resíduos (aleatória ou tendenciosa). Os resíduos constituem a diferença entre os valores observados pelos valores estimados pelos modelos (Mendonça et al., 2015). Considera-se um modelo aceitável se os valores residuais se encontrarem próximos à faixa horizontal em torno de zero, não indicando tendenciosidade dos resultados. Se o modelo apresentar distribuição tendenciosa dos seus resíduos, o modelo será considerado inadequado para representar a cinética de secagem (Goneli, 2008). Ainda, se forma figuras geométricas ou acumula-se em um ponto fora do eixo, também é considerado que a distribuição é tendenciosa. Esta distribuição tem sido utilizada para seleção de modelos matemáticos de secagem (Mendonça et al., 2015). O desvio padrão da estimativa (SE) e o erro médio relativo (P) para cada um dos modelos foram calculadas conforme equações 17 e 18.

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y - Y_0)^2}{N-2}} \quad (17)$$

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{|Y - Y_0|}{Y} \right) \quad (18)$$

Em que,

Y - valor observado experimentalmente;

Y<sub>0</sub> - valor calculado pelo modelo; e,

N - número de dados observados.

Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados de secagem, realizou-se análise de regressão não linear, através do programa CurveExpert Professional 2.4.0 Trial version.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** O teor de água das sementes passou de 37 para 26,8%, após as panículas terem sido expostas ao sol, por duas horas, obtendo-se diferença de 10,2 pontos percentuais. Esta rápida redução do teor de água se deve à água livre, que tem baixa energia de retenção pelas sementes (Berbert et al., 2008). O teor de água das sementes após a trilha e os diversos manuseios, reduziu para 23,1%. A retirada das impurezas com o secador-soprador à 30 °C, fez com que teor de água reduzisse para 22%. Foram retiradas 4,5% de impurezas das sementes, constituída de palha, sementes leves e chochas. A maior parte da água evaporada, durante a secagem, é "água livre", como relatado por Berbert et al. (2008). Isso é observado com a rápida perda de água, que ocorre inicialmente, nos processos após a colheita das sementes. Ronoh et al. (2009), secando sementes de amaranto utilizando secador de tenda solar de convecção natural e sol aberto, nas temperaturas entre 22,6 e 30,4 °C e umidade relativa entre 25,0 e 52,0%, observou uma redução do teor de água inicial das sementes de 39,1% para valores próximos à 25,9% com 0,5 horas. Tal diferença no tempo de exposição ao sol em relação à perda de água está relacionada à proteção das sementes pelas panículas, que contém maior teor de água que as sementes. Os valores máximos e mínimos para temperaturas do ar de secagem foram de 41 e 29 °C, enquanto que as temperaturas das massas foram de 44 e 37 °C, para secagem a pleno sol e de 32 e 27 °C, para sombra. Assim, tem-se que a temperatura média para a massa de sementes foi de 40 °C, para secagem a pleno sol e de 30 °C, para secagem à sombra. Observou-se que na secagem natural houve variações de temperatura durante o processo e que ela tende a um equilíbrio da massa de semente, sofrendo menor amplitude que a do próprio ar ambiente no qual está envolta. Durante a realização da secagem a pleno sol a insolação média foi de 6,5 horas (INMET, 2020), com períodos nublados de até uma hora (tempo de secagem 7,5 h dia<sup>-1</sup>). O efeito da insolação aumentou a temperatura da massa de sementes em relação a temperatura do ar de secagem. É importante lembrar que o período de tempo em que as sementes ficaram em dessecador não foi considerado. Quanto à umidade relativa do ar de secagem, os valores máximos e mínimos foram de 73,3 e 60%, para pleno sol, e de 83,5 e 60%, para sombra. É válido lembrar que a secagem foi feita em período chuvoso, com alta umidade relativa do ar (Figura 1), mas que são normais na colheita no período de colheita do amaranto na região em que o trabalho foi conduzido. Outro fator a considerar, nesse período, é que a alta umidade relativa pode ter influenciado na secagem a céu aberto (Celestino, 2010), como foi o caso da secagem a pleno sol, acarretando aumento no tempo de secagem. Este fato pode causar aceleração da deterioração das sementes, sendo agravado com o maior tempo de armazenamento (Afonso et al., 2006). A velocidade do fluxo de ar foi nula para a secagem a sombra, por estarem elas em ambiente protegido, sendo a perda da umidade da massa de grãos ocasionada somente por convecção, resultando em longo tempo de secagem. A secagem a pleno sol aconteceu com

velocidade média do vento, de  $2,0 \text{ m s}^{-1}$ . O ensaio de secagem está apresentado na Figura 2. Para a secagem ao sol a maior umidade relativa do ar e períodos de tempo nublado afetou no tempo de secagem, sendo necessário dois dias para sua execução. O tempo necessário corrigido, considerando a redução do teor de água de 22 para 11%, foi de 15 horas (Figura 2A). Para a secagem à sombra, devido às influências das condições do tempo (temperatura, umidade relativa e ausência de vento), a secagem foi estendida. Neste processo, o tempo necessário para reduzir o teor de água de 22% para 13% foi de 164 horas, quando se admitiu equilíbrio com o ambiente, com variações no teor de água devido à umidade relativa. Este fato foi constatado pela leitura de 242 horas, com o teor de água mantido em 12,3% (Figura 2B). Foi observado que a secagem à sombra demandou maior tempo para a secagem de sementes amaranto, ainda causou maior exposição das sementes às intempéries do ambiente. Contudo, é possível realizá-la em agricultura familiar ou produção de pequena escala (13% de teor de água), assim como a secagem em pleno sol, demandando menores investimentos e custos, em relação aos processos artificiais (Abalone et al., 2006; Ronoh et al., 2009). Ronoh et al. (2009), realizando a secagem de sementes de amaranto em temperaturas entre 22,6 e 30,4 °C, através da energia solar, com umidade relativa do ar variando entre 25 e 52%, e teor de água inicial das sementes de 39%, observaram que a umidade de equilíbrio, próxima de 9%, identificada a 3,5 horas de duração da secagem.

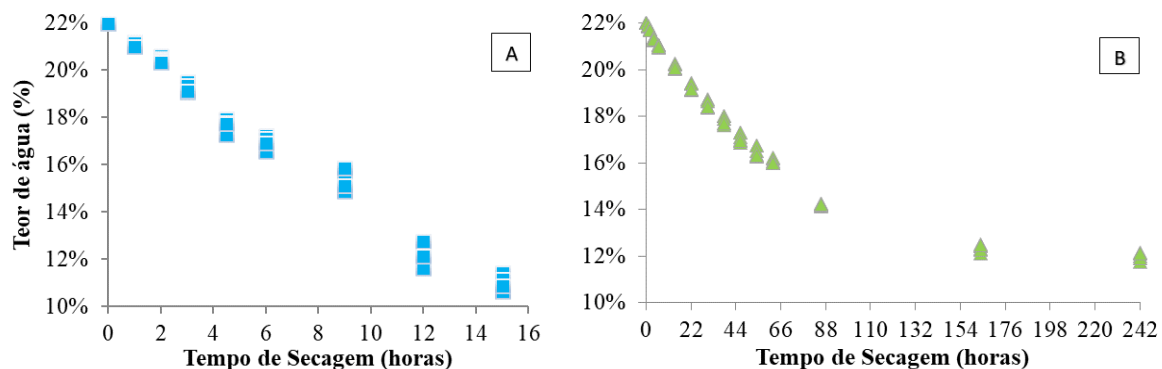


FIGURA 2. Curvas de secagem do *Amaranthus cruentus* BRS Alegria em secagem a pleno sol (A) e a sombra (B).

Na Tabela 2 são apresentados os coeficientes dos modelos matemáticos da cinética de secagem de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, com respectivas constantes de secagem e seus parâmetros estatísticos. Nas condições de secagem, o valor do coeficiente de determinação foi superior a 0,98, sinalizando uma representação satisfatória do processo de secagem, excetuando-se para o modelo de Page modificado. A razão mais provável pela qual o modelo de Page modificado não ter sido adequado para secagem a pleno sol e a sombra se deve principalmente à forma do modelo, em que se espera uma queda acentuada no início da secagem, o que não ocorreu (Tabela 2). Apenas o coeficiente de determinação não constitui um bom critério para a seleção de modelos não lineares tornando imprescindíveis avaliações de outros parâmetros. A capacidade de um modelo descrever com fidelidade determinado processo físico é inversamente proporcional ao valor do desvio padrão da estimativa (Draper e Smith, 1998). Neste sentido, o modelo de Midilli (Equação 9) e Midilli modificado (Equação 10) foram os que tiveram os menores valores do desvio padrão da estimativa e que melhor se ajustaram aos dados (Tabela 2). Analisando os valores do erro médio relativo (P), as equações utilizadas se ajustaram adequadamente, pois apresentaram baixos desvios dos valores observados em relação à curva estimada pelo modelo (Tabela 2). Considerando valores elevados para o coeficiente de determinação e mínimos para desvio padrão da estimativa, somente foi possível eleger os melhores modelos utilizando-se as menores magnitudes para

erro médio relativo, que foi, então, utilizado para selecionar o modelo mais adequado para as condições de secagem estudadas neste trabalho. Quanto a distribuição dos resíduos, ambos se apresentaram tendencioso.

TABELA 2. Ajuste dos modelos matemáticos aos dados de cinética de secagem de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, e seus respectivos parâmetros estatísticos, para secagem a pleno sol e a sombra. **Adjustment of mathematical models to the drying kinetics data of *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, and their respective statistical parameters, for drying in full sun and shade.**

Equação	A	B	C	k	k <sub>0</sub>	k <sub>1</sub>	R <sup>2</sup>	SE	P	Res.
Secagem a pleno sol										
(3)	1,000	1,000	-	0,068	-	-	0,988	0,025	3,226	T
(4)	0,513	0,498	-	-	0,070	0,070	0,988	0,025	3,165	T
(5)	1,556	-	-	0,088	-	-	0,989	0,023	2,753	T
(6)	1,011	-	-	0,070	-	-	0,988	0,024	3,167	T
(7)	0,337	0,337	0,337	0,070	0,070	0,070	0,988	0,025	3,165	T
(8)	1,255	-0,255	-	0,050	-	-	0,990	0,023	2,673	T
(9)	1,003	-0,009	0,947	0,059	-	-	0,990	0,023	2,711	T
(10)	-	-0,008	0,968	0,057	-	-	0,990	0,023	2,682	T
(11)	-	-	-	0,068	-	-	0,988	0,025	3,226	T
(12)	-	-	1,067	0,059	-	-	0,989	0,023	2,801	T
(13)	-	-	0,000	0,428	-	-	0,000	0,353	7,801	T
(14)	-1047,54	8,447	-	-	-	-	0,988	0,025	3,226	T
(15)	5,553	-	-	0,101	-	0,110	0,989	0,023	2,726	T
(16)	-0,061	-	-	0,001	-	-	0,990	0,023	2,665	T
Secagem a sombra										
(3)	1,000	1,000	-	0,009	-	-	0,987	0,009	0,733	T
(4)	0,968	0,035	-	-	0,007	0,187	0,994	0,006	0,556	T
(5)	0,077	-	-	0,079	-	-	0,994	0,006	0,536	T
(6)	0,994	-	-	0,009	-	-	0,989	0,008	0,780	T
(7)	0,442	0,526	0,035	0,007	0,007	0,187	0,994	0,006	0,556	T
(8)	0,402	0,597	-	0,027	-	-	0,994	0,006	0,566	T
(9)	1,002	0,001	0,887	0,015	-	-	0,994	0,006	0,575	T
(10)	-	-0,014	1,279	-0,002	-	-	0,994	0,006	0,563	T
(11)	-	-	-	0,009	-	-	0,987	0,009	0,733	T
(12)	-	-	0,867	0,013	-	-	0,994	0,006	0,589	T
(13)	-	-	0,000	0,507	-	-	0,000	0,519	6,634	T
(14)	-3,405	0,199	-	-	-	-	0,994	0,006	0,540	T
(15)	0,037	-	-	0,145	-	0,007	0,994	0,006	0,550	T
(16)	-0,010	-	-	0,000	-	-	0,993	0,007	0,574	T

A, B e C - coeficientes dos modelos, adimensionais; k, k<sub>0</sub> e k<sub>1</sub> - constantes de secagem, em h<sup>-1</sup>; R<sup>2</sup> - coeficiente de determinação; SE - desvio padrão da estimativa; P - erro médio relativo; Res. - tendência de distribuição dos resíduos (A - aleatória; T - tendenciosa).

Os valores dos parâmetros estatísticos semelhantes para os modelos de Midilli e Midilli modificado se devem ao parâmetro “A”, próximo de 1,0, tornando idêntico os resultados de ambas equações. Por este motivo, para fins de representação, utilizou-se o modelo de Midilli modificado, conforme ilustra a Figura 3, por ser mais simples, com menor número de fatores. Mendonça et al. (2015) relataram que o modelo de Midilli também teve bom ajuste aos dados experimentais de secagem de sementes de andiroba, com secador solar.

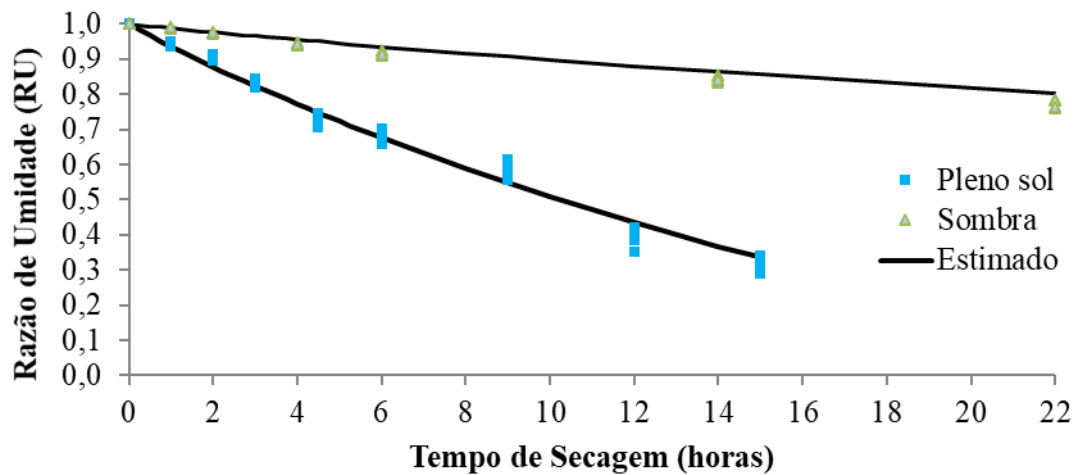


FIGURA 3. Curvas de secagem das sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria, experimentais e estimados pelo modelo de Midilli modificado, nas secagens a pleno sol e a sombra, durante o processo de secagem. Nota: para fins de comparação, utilizou-se o tempo de secagem até 22 horas para sombra.

Em relação ao parâmetro “k” dos modelos matemáticos, é possível perceber que os valores foram menores para sombra em relação à sol (Tabela 2). Isso por que maiores temperaturas acarretam maiores taxas de secagem, chegando ao teor de água de equilíbrio em menor tempo de submissão do produto ao ar de secagem (Corrêa et al., 2010). O mesmo ocorre com os parâmetros  $k_0$  e  $k_1$ . Assim, a cinética de secagem do amaranto ocorreu no período de taxa decrescente. Ainda para “k”, observou-se uma linearidade na equação do modelo de Henderson e Pabis Modificado, os quais foram semelhantes, juntamente com os parâmetros “A”, “B” e “C”. Este fato é evidente para secagem a pleno sol, em que tais parâmetros foram idênticos. Isso porque o comportamento da cinética da secagem natural foi mais próximo a função polinomial de primeiro grau. É válido lembrar que, por serem de natureza empírica, essas equações só podem ser utilizadas para prever dados de secagem para as condições de temperaturas e velocidades do ar de secagem estudadas.

**CONCLUSÕES:** A cinética de secagem das sementes de *Amaranthus cruentus* BRS Alegria ocorre no período de secagem em taxa decrescente. A temperatura de secagem influencia fortemente a cinética de secagem. A equação de Midilli modificado obteve melhor ajuste. Para secagem em pleno sol, a temperatura média da massa de sementes foi de 40 °C e o tempo de secagem foi de 15 horas, sendo influenciado pela alta umidade relativa do ar, aumentando o tempo de secagem. A temperatura média da massa de sementes na secagem a sombra foi de 30 °C e o tempo de secagem foi de 164 horas até o teor de água de 13%, considerado a umidade de equilíbrio.

**AGRADECIMENTOS:** Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio.

## REFERÊNCIAS

ABALONE, R.; GASTÓN, A.; CASSINERA, A.; LARA, M. A. Thin layer drying of amaranth seeds. *Biosystems Engineering*, v. 93, n. 2, p. 179–188, 2006.

AFONSO, A.; DONZELLES, S.; SILVA, J. Secagem e secadores. In: SILVA, J. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda fácil, 2008. cap. 5, p. 108-138.

BERBERT, P. A.; AFONSO, A. D. L.; RUFATO, S.; SILVA, J. S. Indicadores de Qualidade dos grãos. In: SILVA, J. S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda fácil, 2008. cap. 4, p. 63-107.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. 395 p.

CALZETTA RESIO, A. N.; TOLABA, M. P.; SUÁREZ, C. Effect of drying temperature and soaking conditions on wet-milling characteristics of amaranth grain. **International Journal of Food Engineering**, v. 6, n. 1, 2010.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 51 p.

CORRÊA, P. C.; DONZELLES, S. M. L.; SILVA, J. S. Secagem de grãos com energia solar. In: SILVA, J. S. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. Viçosa: **Aprenda fácil**, cap. 7, p. 171-189, 2008.

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. C. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. Applied regression analysis. 3. ed. New York: **John Wiley & Sons**, 1998. 712. DOI: 10.1002/9781118625590

GONELI, A. L. D. **Variação das propriedades físicas mecânicas e da qualidade da mamona (*Ricinus communis* L.) durante a secagem e o armazenamento**. 2008. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

MENDONÇA, A. P.; SAMPAIO, P. T. B.; ALMEIDA, F. A. C.; FERREIRA, R. F. F.; NOVAIS, J. M. Determinação das curvas de secagem das sementes de andiroba em secador solar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p.382-387, 2015.

PAGANO, A. M.; MASCHERONI, R. H. Sorption isotherms for amaranth grains. **Journal of Food Engineering**, v. 67, p. 441-450, 2005.

RONOH, E. K.; KANALI, C. L.; MAILUTHA, J. T.; SHITANDA, D. Modeling thin layer drying of amaranth seeds under open sun and natural convection solar tent dryer. **Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal**. Manuscript 1420, v. 6, 2009.

SILVA, A. L. **Desempenho agrônomo e fisiológico do amaranto sob restrição hídrica**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2019.

SPEHAR, C. R.; TEIXEIRA, D. L.; CABEZAS, W.; ERASMO, E. A. L. Amaranto BRS Alegria: Alternativa para diversificar os sistemas de produção. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.5, p.659-663, 2003.