

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE CÁCERES JANE VANINI  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E BIOLÓGICAS -FACAB  
CURSO DE AGRONOMIA**

**ALINE ELLEN VENANCIO**

**MODELAGEM MATEMÁTICA DAS CURVAS DE  
EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO DE SEMENTES DE  
MARACUJÁ DOCE (*Passiflora alata* Curtis)**

**CÁCERES - MT  
2015**

**ALINE ELLEN VENANCIO**

**MODELAGEM MATEMÁTICA DAS CURVAS DE EQUILÍBRIO  
HIGROSCÓPICO DE SEMENTES DE MARACUJÁ DOCE (*Passiflora alata*  
Curtis)**

Monografia apresentada como requisito obrigatório para obtenção do título de Engenheira Agrônoma a Universidade do Estado de Mato Grosso – Campus Cáceres.

Orientador

Prof. Dr. Eder Pedroza Isquierdo

Coorientador

Prof. Dr. Petterson Baptista da Luz

**CÁCERES - MT  
2015**

**ALINE ELLEN VENANCIO**

**MODELAGEM MATEMÁTICA DAS CURVAS DE EQUILÍBRIO  
HIGROSCÓPICO DE SEMENTES DE MARACUJÁ DOCE (*Passiflora alata*  
Curtis)**

Esta monografia foi julgada e aprovada como requisito para obtenção do Diploma de Engenharia Agrônoma no Curso de Agronomia da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT.

**Cáceres, 11 de Dezembro de 2015**

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Tanismare Tatiana de Almeida- (UNEMAT)

---

Prof. Dr. Eder Pedroza Isquierdo- (UNEMAT)

Orientador

---

Prof. Dr. Petterson Baptista da Luz- (UNEMAT)

Coorientador

A toda a minha família que confiaram e contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Aos meus pais Edson da Rocha Venancio e Valdimeire Rosana Lino Venancio;

Aos professores pelo simples fato de estarem dispostos a ensinar;

Enfim a todos que de alguma forma tornaram este caminho mais fácil de ser percorrido.

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, principal responsável por tudo isso.

Aos meus pais Edson da Rocha e Valdimeire Rosana, pelo apoio, incentivo, compreensão, e amor.

Aos meus irmãos Endson Lino e Elison Lino, pelo companheirismo, sempre estando ao meu lado quando precisei.

Aos meus avós Antonio Lino e Cleonice Francisca, pelo amor, incentivo e carinho.

A meu namorado, Eliseu Polisei, pela dedicação, amor e compreensão, principalmente na minha ausência no decorrer desse trabalho.

A minha amiga Rosane Luiza companheira de trabalhos e irmã na amizade. Fez parte da minha formação e que vai continuar presente em minha vida com certeza.

Ao meu Orientador, Eder Pedroza Isquierdo, pela paciência, dedicação, incentivo e sabedoria que muito me auxiliou para conclusão deste Trabalho de Conclusão de Curso.

A professora Tanismare Tatiana de Almeida, por auxiliar na execução do experimento.

Ao professor Petterson Baptista e Severino de Paiva, por ceder o Laboratório de sementes e plantas ornamentais para a condução do experimento.

A todos os mestres e amigos, que me ensinaram, incentivaram e ajudaram, direta ou indiretamente, contribuindo assim, para esse momento de tanta alegria.

## RESUMO

O armazenamento de sementes por períodos prolongados e com teores de água elevados é praticamente inviável, nessas condições o metabolismo das sementes continua intenso. Portanto além da secagem, outro fator importante na produção de mudas a partir de sementes é as condições de seu armazenamento. Os produtos agrícolas possuem a propriedade de realizar trocas de água na forma de vapor com o ambiente que os envolve. Essas trocas podem ocorrer por meio dos fenômenos de adsorção ou dessorção. A composição química do produto influencia diretamente no processo de sorção de água, sementes de maracujá são ricas em óleo, possuindo aproximadamente 22 a 28%, a afinidade entre a água e os componentes de um produto define sua higroscopicidade. A relação entre o teor de água de equilíbrio e a umidade relativa de equilíbrio, é definida como atividade da água, constitui fator essencial no armazenamento de sementes. A atividade de água e a umidade relativa quando atingido o equilíbrio são numericamente iguais. Portanto para garantir a qualidade do produto se faz necessário conhecer a influência das condições do ambiente na estabilidade do mesmo. Com intuito de analisar a dinâmica de sorção da semente de maracujá, o presente trabalho teve como objetivo a determinação do equilíbrio higroscópico a partir de diferentes condições controladas de temperatura e umidade relativa do ar, assim como avaliar dentre diversos modelos descritos na literatura, o que melhor representa o comportamento da isoterma de sorção. Para o controle da umidade relativa, as sementes foram colocadas no interior de recipientes herméticos contendo diferentes soluções salinas saturadas e esses recipientes foram colocados em câmaras incubadoras tipo B.O.D. reguladas para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C. A temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas por meio de um termohigrômetro digital colocado no interior dos recipientes. Como resultado foi verificado que o teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes de maracujá é diretamente proporcional à atividade de água e decresce com o aumento de temperatura, para um mesmo valor de umidade relativa de equilíbrio. Para os intervalos entre 11.21 e 86.77% de umidade relativa do ar e temperaturas de 10 a 40°C, o modelo Chung Pfof foi o que melhor representou a higroscopicidade das sementes de maracujá quando comparados com os demais modelos testados.

**Palavras-chave:** Atividade de água, umidade relativa, isotermas de sorção.

## SUMÁRIO

**ARTIGO**

RESUMO

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 MATERIAL E MÉTODO.....	11
3 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	15
4 CONCLUSÃO.....	18
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18

**Modelagem matemática das curvas de equilíbrio higroscópico de sementes de maracujá doce (*Passiflora alata* Curtis)**

Preparado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Versão preliminar

**RESUMO-** A temperatura e a umidade relativa exercem grande influência na velocidade da deterioração de produtos agrícolas, sendo fatores essenciais em estudos de armazenamento de sementes. Diante disso, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de se determinar o teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes de maracujá doce, para diferentes condições de temperatura e umidade relativa, assim como avaliar, dentre diversos modelos descritos na literatura, o que melhor representa o comportamento das isotermas de sorção para essa semente. Para obtenção do teor de água de equilíbrio higroscópico foi utilizado o método estático-gravimétrico. As sementes foram colocadas no interior de recipientes herméticos contendo diferentes soluções salinas saturadas para o controle da umidade relativa e esses recipientes foram colocados em câmaras incubadoras tipo B.O.D. reguladas para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C. Baseado em parâmetros estatísticos, concluiu-se que, para os intervalos entre 11.21 e 86.77% de umidade relativa do ar e temperaturas de 10 a 40°C, o modelo que melhor se ajusta aos dados empíricos do processo de sorção das sementes de maracujá doce é o Modelo Chung-Pfost, apresentando coeficiente de determinação de 0.99.

**Palavras-chave:** Atividade de água, umidade relativa, isotermas de sorção.

**Mathematical modeling of equilibrium moisture curves of fresh passion fruit seeds (*Passiflora alata* Curtis)**

**ABSTRACT-** The temperature and relative humidity have great influence on the speed on deterioration of seeds and are essential factors in storage studies of this product. The present study was aimed at investigating the equilibrium moisture content of sweet passion fruit seeds to different conditions of temperature and relative humidity and assess, among several models described in the literature, which best represents the sorption isotherms for this product. To obtain the hygroscopic equilibrium water content was used, the static gravimetric method. The seeds were placed within airtight container



with different saturated salt solutions to control the relative humidity and these containers were placed in B.O.D incubator acclimatized to 10, 20, 30 and 40 ° C. Based on statistical parameters, for the intervals between 11:21 and 86.77% of relative humidity and temperature 10-40 ° C, the Chung-Pfost Model is that best fits the empirical data of the sorption process of sweet passion fruit seeds. The model had a coefficient of determination of 99%.

**Keywords:** water activity, relative humidity, sorption isotherms.

## INTRODUÇÃO

O maracujá pertence à família Passifloraceae com cerca de 18 gêneros e mais de 500 espécies, distribuídas predominantemente em áreas tropicais e subtropicais, principalmente nas Américas e África (MILWARD-DE-AZEVEDO & BAUMGRATZ, 2004). Na América Latina o gênero mais representativo é o Passiflora, com aproximadamente 400 espécies, das quais 150 são encontradas no Brasil (FALEIRO et al., 2005).

Dentre as espécies mais cultivadas do gênero passiflora, está o maracujá-doce (*Passiflora alata* Curtis), uma espécie brasileira, que possui frutos ovais a piriformes, amarelos ou laranja, comestíveis e adocicados, com polpa ligeiramente ácida e muito perfumada (CUNHA & BARBOSA, 2002). Os frutos dessa espécie possuem elevada cotação no mercado, pois a polpa é muito saborosa e doce. Seu cultivo se dá também para fins medicinais, porque produz passiflorina, um calmante natural, além do valor ornamental, que está associado às flores, coloridas e perfumadas (MELETTI & MAIA, 1999).

No que se refere às sementes do maracujá-doce (*Passiflora alata* Curtis), há relatos de dificuldades de conservação e observações indicativas da existência de vida curta (MELETTI, 1999). O armazenamento de sementes por períodos prolongados e com teores de água elevados é praticamente inviável, pois nessas condições o metabolismo das sementes continua intenso, o que torna a secagem, outro fator importante na produção de mudas a partir de sementes (CARLESSO et al., 2008).

De acordo com Costa et al. (2013), os produtos agrícolas possuem a propriedade de realizar trocas gasosas com o ambiente que os envolve. Essas trocas podem ocorrer por meio dos fenômenos de adsorção ou dessorção. O processo de sorção só cessa quando a pressão de vapor do ambiente se iguala com a pressão de vapor da superfície do

produto, e nesse momento, que há o equilíbrio higroscópico para as condições de temperatura e umidade relativa do ambiente (MOHSENIN, 1986).

O teor de água é insuficiente para o entendimento das propriedades funcionais da água nas sementes. O estado da água em grãos e sementes pode ser mais bem representado pelo conceito qualitativo da atividade da água ( $a_w$ ), que é um parâmetro termodinâmico definido como o potencial químico da água, que refere-se ao estado de energia da água na semente. Esse parâmetro expressa a disponibilidade potencial da água para participar de reações químicas, bioquímicas e no desenvolvimento de fungos.

Segundo Gava et al. (2008), a atividade de água pode variar de zero a um, onde o zero representa que não há água livre, enquanto a unidade representa a água pura. Quando o teor de água de um produto está em equilíbrio com o ambiente, a atividade de água é igual ao valor da umidade relativa, em decimal, para uma mesma temperatura.

De acordo com Araújo et al. (2001) a atividade da água, constitui fator essencial, em estudos de sistemas de secagem, armazenamento, embalagem, e modelagem da longevidade das sementes. A atividade da água exerce grande influência na velocidade de deterioração das sementes durante o armazenamento, elevadas atividades de água aceleram o metabolismo respiratório e aumentam a ação de microrganismos. Em contrapartida, valores de atividade de água inferiores a 0,60 não possibilitam deterioração microbiana, pois não permitem o crescimento de microrganismos, embora eles ainda possam sobreviver (ALZAMORA et al., 2003). Por outro lado, quando a semente é desidratada abaixo de certos limites de umidade podem ocorrer reações deletérias, que afetam sua qualidade fisiológica (LAMARCA, 2009).

A composição química do produto influencia diretamente no processo de sorção (adsorção e dessorção) de água, ou seja, a afinidade entre a água e os outros componentes (gordura, amido, açúcar, proteínas, etc.) de um produto define sua higroscopicidade (BROOKER et al., 1992). Por exemplo, sementes com elevado teor de óleo possuem teor de água de equilíbrio mais baixo do que sementes com alto teor de amido, para uma mesma condição ambiente. Por outro lado, sementes ricas em óleo, como é o caso do maracujá, que possui aproximadamente 22 a 28% de óleo, (INFORME AGROPECUÁRIO, 2000), apresentam maior atividade de água em comparação às sementes que tem como reserva o amido, quando armazenadas com o mesmo teor de água. Dessa forma, as sementes oleaginosas devem ser armazenadas com menores teores de água, sob o risco de sofrerem deterioração por ação de microrganismos.

Segundo Hall (1980), as curvas de equilíbrio higroscópico são importantes para determinar os limites de desidratação do produto, avaliar as mudanças do teor de água sob determinada condição de temperatura e umidade relativa do ambiente e para definir os teores de água adequados, ao ponto de evitar atividade de microrganismos, que provocam a deterioração do produto.

A relação entre o teor de água de um determinado produto e a umidade relativa de equilíbrio, para uma temperatura específica, pode ser expressa por meio de equações matemáticas denominadas isotermas, ou curvas de equilíbrio higroscópico (CORRÊA et al. 2005). As isotermas são determinadas comumente pelo método gravimétrico estático. Nesse método a temperatura do ar e a umidade relativa são mantidas constantes até que o teor de água da amostra atinja o valor de equilíbrio (MORTOLA et al., 2003).

Vários pesquisadores têm estudado o comportamento higroscópico de diversos produtos agrícolas que descrevem modelos matemáticos distintos para expressar o teor de água de equilíbrio em função da temperatura e umidade relativa do ar (COSTA et al., 2013).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi analisar a dinâmica de sorção de sementes de maracujá doce através da determinação de suas curvas de sorção e identificação e ajuste dos modelos matemáticos descritos na literatura que melhor representam o comportamento do produto.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado no Laboratório de Sementes e Plantas Ornamentais do Departamento de Agronomia da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), campus de Cáceres. As sementes utilizadas no experimento foram extraídas do maracujá-doce (*Passiflora alata* Curtis), espécie do Banco Ativo de Germoplasma (BAG), cultivado na área experimental do laboratório de melhoramento da UNEMAT.

Os frutos foram colhidos em estágio de maturação ideal para consumo (coloração amarelada), selecionados observando-se critérios de uniformidade do grau de maturação e integridade física. Em seguida, os frutos foram lavados em água clorada (50 ppm de cloro ativo/15 minutos).

Inicialmente, as sementes de maracujá foram separadas manualmente da polpa, e rapidamente lavados para a máxima retirada de resíduos, de forma a se obter um material composto apenas pelas sementes, e menos suscetível a deterioração. Em seguida, o material foi espalhado em uma peneira, e deixado exposto no ambiente para a

eliminação da água superficial. Posteriormente, as sementes foram colocadas em dessecador com sílica gel até atingir o equilíbrio higroscópico.

As características higroscópicas das sementes de maracujá foram avaliadas por meio das curvas de equilíbrio higroscópico para diferentes temperaturas e atividades de água. Para a análise dos resultados foram confeccionadas curvas denominadas de isotermas de sorção que se caracterizam como a relação entre o teor de água da semente e a atividade de água para uma dada temperatura. Como a atividade de água é analisada no momento em que ocorre o equilíbrio higroscópico, para a análise dos dados foi considerado a atividade de água ( $a_w$ ) como sendo igual a umidade relativa do ar, em decimal (SAUER, 1995 e JAYAS et al., 1995).

Para obtenção do teor de água de equilíbrio higroscópico utilizaram-se sementes com teor de água inicial de  $0,048 \text{ (g.g}^{-1} \text{ b.s.)}$  e o método estático-gravimétrico. Para cada repetição foram colocados  $3 \pm 0,2 \text{ g}$  de sementes no interior de recipientes herméticos. A fim de permitir a passagem do ar através das sementes, essas foram envolvidas por um tecido permeável (voile). A temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas por meio de um termohigrômetro digital colocado no interior dos recipientes.

Visando o controle da umidade relativa no interior dos recipientes herméticos utilizaram-se diferentes soluções salinas saturadas e os recipientes foram colocados em câmara incubadora tipo B.O.D. (Biochemical Oxygen Demand) reguladas para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C.

Na Tabela 1 estão apresentadas as soluções salinas saturadas utilizadas no presente trabalho, assim como as umidades relativas do ar que cada uma proporciona em função da temperatura. Foram realizadas 2 repetições para cada combinação de umidade relativa e temperatura.

Tabela 1. Umidades relativas do ar (%) em função das soluções saturadas e temperaturas usadas para determinação do equilíbrio higroscópico.

Solução saturada	Temperaturas			
	10°C	20°C	30°C	40°C
Cloreto de lítio	11,29	11,31	11,28	11,21
Cloreto de magnésio	33,47	33,07	32,44	31,60
Nitrato de magnésio	57,36	54,38	51,40	48,42
Iodeto de potássio	72,11	69,90	67,89	66,09
Cloreto de potássio	86,77	85,11	83,62	82,32

Fonte: Greenspan (1977)

Para a determinação do teor de água de equilíbrio higroscópico, as sementes foram pesadas periodicamente (de doze em doze horas) até o momento em que não houve mais variação da sua massa, neste momento considerou-se que foi atingido o equilíbrio higroscópico entre a massa de sementes e o ambiente. Em seguida, determinou-se o teor de água de equilíbrio das sementes pelo método da estufa à  $105 \pm 3$  °C, durante 24 horas, conforme as Regras para Análise de Sementes – RAS (Brasil, 2009).

Para a obtenção das isotermas de equilíbrio higroscópico das sementes de maracujá doce para diferentes atividades de água foram realizadas simulações matemáticas a partir de equações que descrevem o fenômeno de higroscopicidade para produtos biológicos Sokhansanj et al., 1986; Pereira & Queiroz, 1987; Chen & Morey, 1989a; Chen & Morey, 1989b; Corrêa et al., 2005; Mazza & Jayas, 1991; Brooker et al., 1992; Corrêa et al., 1995; Morey et al., 1995; Sokhansanj & Yang, 1996; Chen & Jayas, 1998; Corrêa et al., 1998; ASAE, 1999). Algumas destas equações estão dispostas na Tabela 2 (Equações 1 a 9).

Tabela 2. Modelos utilizados para a verificação do comportamento da isoterma

Modelo	Equação	Eq.
Chung Pfost	$U_e = a - b \ln[-(T + c) \ln(a_w)]$	(1)
Copace	$U_e = \exp[ a-(bT) + (ca_w)]$	(2)
GAB Modificado	$U_e = \frac{ab(c/T)a_w}{\{[1 - ba_w][1 - ba_w + b(c/T)a_w]\}}$	(3)
Halsey Modificada	$U_e = [\exp(a - bT) / - \ln(a_w)]^{1/c}$	(4)
Henderson	$U_e = [\ln(1 - a_w) / (- aT_{abs})]^{1/c}$	(5)
Henderson Modificada	$U_e = \{ \ln(1 - a_w) / [- a(T + b)] \}^{1/c}$	(6)
Oswin	$U_e = (a - bT) / [(1 - a_w) / a_w]^{1/c}$	(7)
Sabbab	$U_e = a (a_w^b / T^c)$	(8)
Sigma Copace	$U_e = \exp\{ a-(bT) + [c \exp(a_w)] \}$	(9)

em que;

$U_e$  - teor de água do produto, em b.s.;

$a_w$  - atividade de água, decimal;

$T$  - temperatura do ar ambiente, °C;

$T_{abs}$  - temperatura absoluta do ar ambiente, em K;

$a, b, c$  - parâmetros que dependem da natureza do produto.

A estimativa dos parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais foi realizada por meio da utilização do programa STATISTICA 7.0 com aproximação não linear pelo método Quasi-Newton. Para a análise de representatividade dos dados aos modelos propostos, os dados experimentais foram comparados com os valores estimados por cada modelo, verificando-se a representatividade de cada um. Para isto foram estimados o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a porcentagem de erro médio relativo (P), e o erro médio estimado (SE), respectivamente com as Equações 10 e 11.

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum (|Y - \hat{Y}| / Y) \quad (10)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (11)$$

em que,

$Y$  - valor observado experimentalmente;

$\hat{Y}$  - valor calculado pelo modelo;

GLR - grau de liberdade do modelo,

$N$  - número de repetições.

## RESULTADO E DISCUSSÃO

Os valores médios do teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes de maracujá doce para as temperaturas de 10, 20, 30, e 40 °C e atividade de água entre 0,11 a 0,83 (decimal) são apresentados na tabela 3. Verifica-se, para uma mesma temperatura, que com a variação da atividade de água tem-se um aumento sensível do teor de água de equilíbrio.

**Tabela 3.** Valores médios do teor de água de equilíbrio ( $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  b.s.) das sementes de maracujá obtidos pelo processo de adsorção, em função da temperatura (°C) e atividade de água (decimal).

Atividade de água	Temperatura	Teor de água de equilíbrio	Atividade de água	Temperatura	Teor de água de equilíbrio
0,1129	10	0,0375	0,1128	30	0,0274
0,3347	10	0,0568	0,3244	30	0,051
0,5736	10	0,0764	0,514	30	0,0642
0,7211	10	0,0971	0,6789	30	0,0805
0,8677	10	0,1204	0,8362	30	0,0963
0,1131	20	0,0224	0,1121	40	0,0213
0,3307	20	0,0499	0,3160	40	0,0482
0,5438	20	0,0660	0,4842	40	0,0597
0,699	20	0,0819	0,6609	40	0,0755
0,8511	20	0,1016	0,8232	40	0,0967

Observa-se que, para uma mesma temperatura, o aumento da atividade de água causa um aumento sensível dos teores de água de equilíbrio. Já com o aumento da temperatura, nota-se um decréscimo dos teores de água de equilíbrio. Esses resultados seguem a tendência da maioria dos produtos agrícolas.

Dentre os modelos matemáticos utilizados nesse experimento para descrever a higroscopicidade de sementes de maracujá doce, os modelos matemáticos GAB Modificado, Halsey Modificado, Henderson, Henderson Modificado e Oswin não apresentaram ajuste satisfatório aos dados experimentais.

Na tabela 4 estão apresentados os parâmetros dos modelos que apresentaram ajuste satisfatório aos valores de teor de água de equilíbrio higroscópico para as sementes de maracujá doce, obtidos pelo método estático para diferentes condições de temperatura e atividades de água.

**Tabela 4.** Coeficientes dos modelos ajustados aos teores de água de equilíbrio higroscópico para as sementes de maracujá com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), erros médios estimado (SE) e erros médios relativo (P).

Modelos	Parâmetros			$R^2$	SE	P
	a	b	c		Decimal	(%)
Chung Pfofost	0,2043815	0,034162	52,26812	0,990757	0,013458	6,085443
Sabbab	0,1953757	0,767986	0,1435211	0,98346	0,01797	6,927811
Copace	-3,40731	0,005774	1,663815	0,98405	0,017651	10,48249
Sigma Copace	-4,148176	0,005522	0,926657	0,97268	0,023031	13,99366

Verifica-se, na Tabela 4, que os modelos de Chung Pfofost, Sabbab, Copace e Sigma Copace, de modo geral, apresentaram valores elevados do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), superiores a 0,97. No entanto, segundo Madamba et al. (1996) a utilização do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) como o único critério de avaliação para a seleção dos modelos não lineares, não constitui um bom parâmetro para representação do fenômeno. Dessa forma, para uma análise mais detalhada foram utilizados outros parâmetros estatísticos para respaldar a seleção do melhor modelo.

De acordo com Mohapatra e Rao (2005), os modelos com erro médio relativo (P) inferiores a 10% apresentam uma descrição adequada do fenômeno. Assim como, modelos que apresentem menores valores de erro médio estimado (SE) e valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) mais próximos de 100%.

Verifica-se na Tabela 4, que o modelo matemático Chung Pfofost apresentou o maior valor de  $R^2$ , bem como, os menores valores de erro médio estimado (SE) e erro médio relativo (P), indicando que esse modelo, dentre os modelos estudados, é aquele que melhor descreve o teor de água de equilíbrio higroscópico de sementes de maracujá doce.

Na Figura 1 estão apresentados os valores experimentais do teor de água de equilíbrio das sementes de maracujá, obtidos por adsorção, bem como suas isotermas estimadas pelo modelo de Chung Pfofost. Verifica-se, ainda, que para uma atividade de água constante os valores de teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes de maracujá, diminuiram com o aumento da temperatura.



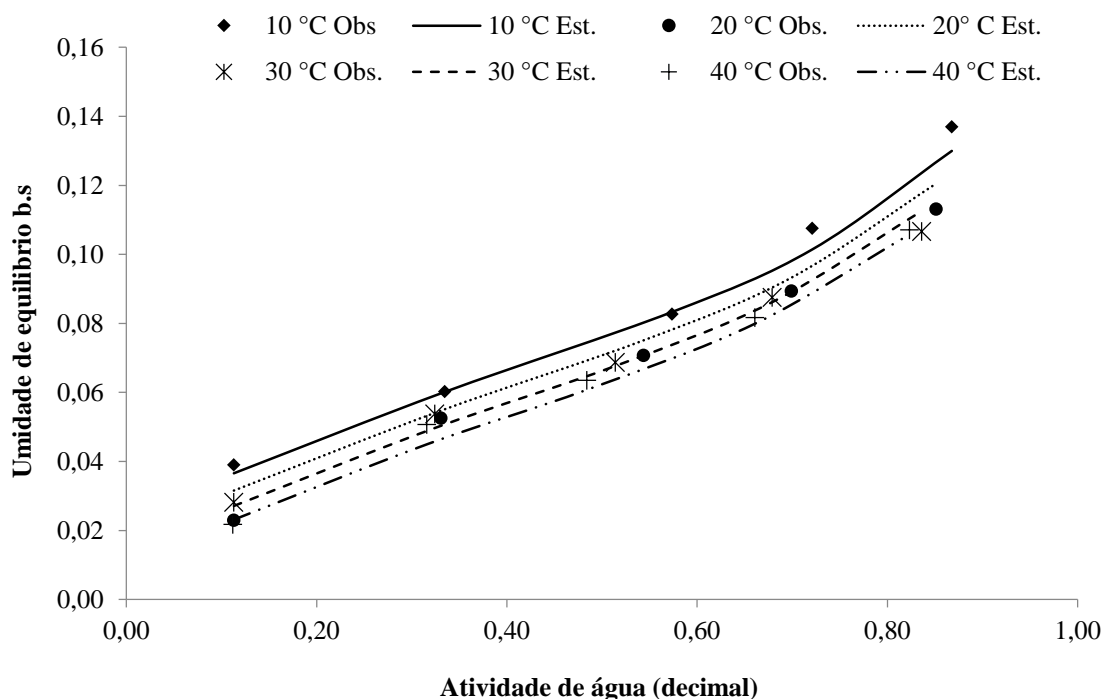


Figura 1. Valores experimentais de teor de água de equilíbrio higroscópico e isothermas estimadas pelo modelo de Chung Pfof para as sementes de maracujá, em diferentes condições de temperatura e atividades de água.

Observa-se que, para uma mesma temperatura o teor de água de equilíbrio aumenta com o aumento da atividade de água e que, para uma atividade de água constante os valores de teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes de maracujá diminuíram com o aumento da temperatura.

A partir dos resultados obtidos foi possível verificar que o Modelo Chung Pfof, para os intervalos entre 11,21 e 86,77% de umidade relativa do ar e temperaturas de 10 a 40°C, descreve adequadamente o comportamento higroscópico das sementes de maracujá doce quando submetidos a diferentes condições ambientais.

A equação matemática da isoterma de sorção de umidade descreve a relação entre  $a_w$  e o teor de água de equilíbrio para um produto agrícola. As isothermas de sorção de umidade em pesquisas em produtos agrícolas são usadas para vários propósitos, como determinação do tempo de secagem ou, prevendo as mudanças de umidade que ocorrem durante a armazenagem e, conseqüentemente, os riscos da ocorrência de deterioração.

Sabe-se que as principais causas de deterioração de grãos e sementes armazenados, principalmente pela ação de microrganismos, são potencializadas a partir da atividade

de água de 0,7 (LABUZA, 1970). Dessa forma, a partir dos dados obtidos através das isotermas de equilíbrio higroscópico das sementes de maracujá doce, é possível saber o máximo teor de água que essas sementes podem ser armazenadas para uma determinada temperatura. Através do modelo de Chung Pfof é possível determinar que, para manter a atividade de água abaixo de 0,7, para a temperatura de 10°C, as sementes de maracujá doce devem ser armazenadas com no máximo 0,098 g.g<sup>-1</sup> (b.s) (10,92 % b.u.). Já para uma temperatura de armazenamento igual a 40 °C, o teor de água máximo deve ser de 0,085 g.g<sup>-1</sup> (b.s) (9,29 % b.u.). Esses resultados mostram que quanto maior a temperatura de armazenamento, menor deverá ser o teor de água para mantermos a aw a baixo de 0,7 e conseqüentemente as condições para uma armazenamento seguro.

### CONCLUSÃO

1. O teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes de maracujá é diretamente proporcional à atividade de água e decresce com o aumento de temperatura, para um mesmo valor de umidade relativa de equilíbrio.

2. Baseando-se em parâmetros estatísticos, o modelo de Chung Pfof é o que melhor representa a higroscopicidade das sementes de maracujá doce quando comparados com os demais modelos testados.

### LITERATURA CITADA

AGUIAR, R. H. et al. Qualidade física, fisiológica e sanitária de sementes de girassol de diferentes tamanhos. Revista Brasileira de Sementes, vol. 23, nº 1, p.134-139, 2001.

ANDRADE, R. A de; OLIVEIRA, I. V. M de; MARTINS, A. B. G. Influência da condição e período de armazenamento na germinação de sementes de pitaya vermelha. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal - SP, v. 27, n. 1, p. 168-170,2005.

ARAÚJO, L. F.; CORRÊA, P. C.; SILVA, R. F. Comparação de modelos matemáticos para descrição das curvas de dessecamento de sementes de milho-doce. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.36, p.991-995, 2001.

ASAE STANDARDS. Transactions of ASAE, St. Joseph, MI, 980p, 1999.

BORDIGNON, B. C. S. Relação das condições de armazenamento com a qualidade fisiológica de sementes e composição do óleo extraído de cultivares de soja. 2009. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Testes de Germinação. Regras para análise de sementes. Brasília, 2009. Cap5, p.147-166.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. Drying and storage of grains and oilseeds. Westport: The AVI Publishing Company, 1992. 450p.

CAETANO, G. S. et al. Higroscopicidade de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 437-445, 2012.

CARLESSO, V. O. et al. Secagem e armazenamento de sementes de maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Degener). Revista Brasileira de Sementes, vol. 30, nº 2, p.065-074, 2008.

CHEN, C.; MOREY, V. Comparison of four EMC/ERH equations. Transactions of ASAE, St. Joseph, v.32, n.3, p.983-990, 1989.

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.

CORRÊA, P. C. et al. Comparação entre os métodos estático e dinâmico na determinação do equilíbrio higroscópico das espigas de milho. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, Especial, v.7, n.2, p.141-149, 2005.

CORRÊA, P.C.; MARTINS, D.S.R.; MELO, E.C. Umigrãos: Programa para o cálculo do teor de umidade de equilíbrio para os principais produtos agrícolas. Viçosa, Centreinar – UFV. 10p.1995.

CORRÊA, P.C.; VITAL, R.B.; MARTINS, J.H. Higroscopicidade e entalpia de vaporização para madeira de *Eucalyptus grandis*. Revista Árvore, Viçosa, v.22, n.4, p.555-561, 1998.

COSTA, L. M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C. Isotermas de dessorção e calor isostérico dos frutos de crambe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.17, n.4, p.412–418, 2013.

CUNHA, M.A.P. da; BARBOSA, L.V.; JUNQUEIRA, N.T.V. Aspectos Botânicos. In: LIMA, A. de A. Maracujá produção: aspectos técnicos. Embrapa mandioca e Fruticultura Cruz das Almas. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2002. p.15-24 (Frutas do Brasil; 15).

FALEIRO, F.G.; JUNQUEIRA, N.T.V.; BRAGA, M.F. Germoplasma e melhoramento genético do maracujazeiro- Desafios da pesquisa. In: FALEIRO, F.G.; JUNQUEIRA, N.T.V.; BRAGA, M.F.(Ed.). Maracujá: germoplasma e melhoramento genético. Planaltina Distrito Federal: Embrapa Cerrados, 2005.

FONSECA, S. C. L.; SILVA, W. R. Conservação de sementes de maracujá-amarelo: Interferências do teor de água das sementes e da temperatura de armazenamento. *Bragantia*, Campinas, v.64, n.2, p.273-289, 2005.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. B. G. Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações. São Paulo: Nobel. 2008.

GREENSPAN, L. Humidity Fixed Points of Binary Saturated Aqueous Solutions. *Journal of research of the National Bureau of Standards- A. Physics and Chemistry* Vol. 81 A, 1977.

INFORME AGROPECUÁRIO. Belo Horizonte, v. 21, n. 206, p. 84-85, set./out. 2000.

JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G.; MUIR, W.E. *Stored-Grain Ecosystems*. New York: Marcel Dekker, INC., 1995, 757p

LABUZA, T. P. Properties of water as related to the keeping quality of food. In: *International congress of food science and technology*, 1970, Washington, DC. *Proceedings...* Washington, DC: [s.n.], 1970. p. 618-635.

LAMARCA, E.V.; LEDUC, S.N.M.; BARBEDO, C.J. Viabilidade e vigor de sementes de *Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil – Leguminosae) pelo teste de tetrazólio. *Revista Brasileira de Botânica*, v.32, p.793-803, 2009.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Jornal de Engenharia de Alimentos*, v.29, p.75-97, 1996.

MARTINS, L.; SILVA, W. R.; MELETTI, L. M. M. Conservação de sementes de maracujá-amarelo (*passiflora edulis* sims f. *Flavicarpa* deg.). *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 27, n.1, p.183-189, 2005.

MAZZA, G.; JAYAS, D.S. Equilibrium moisture characteristics of sunflower seeds, hulls, and kernels. *Transactions of ASAE, St. Joseph*, v.34, n.2, p.534-538, 1991.

MEDEIROS, A. C. S. Preparo e uso de soluções salinas saturadas para a caracterização fisiológica de sementes florestais. Colombo: EMBRAPA FLORESTAS, 2006. (Circular Técnica, 125).

MELETTI, L. M. M. Situação regional da cultura do maracujá – sudeste Estado de São Paulo. In: Reunião técnica de pesquisa em maracujazeiro, 2., 1999, Londrina. Resumos... Londrina: IAPAR/RBF, 1999. p.15-9.

MELETTI, L. M. M. et al. Variabilidade genética em caracteres morfológicos, agronômicos e citogenéticos de populações de maracujazeiro-doce (*Passiflora alata* Curtis). *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal - SP, v. 25, n. 2, p. 275-278, Agosto 2003.

MELETTI, L.M.M; MAIA, M.L. Maracujá: produção e comercialização. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999. 64 p. (Boletim Técnico, 181).

MESQUITA, J. B.; ANDRADE, E. T.; CORRÊA, P. C. Modelos matemáticos e curvas de umidade de equilíbrio de sementes de jacarandá-da-bahia, angico-vermelho e óleo-copaíba. *Cerne*, v.7, n.2, p.012-021, 2001.

MILWARD-DE-AZEVEDO, M.A. & BAUMGRATZ, J.F.A. 2004. *Passiflora* L. subgênero *Decaloba* (DC.) Rchb. (*Passiflora* oraceae) na região Sudeste do Brasil. *Rodriguésia* 55: 17-54

MOHAPATRA, D.; RAO, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, London, v.66, n.4, p.513-18, 2005.

- MOHSENIN, N.N. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach Publishers. 841p. 1986.
- MOREY, V.; WILCKE, W.F.; MERONUCK, R.A. et al. Relationship between equilibrium relative humidity and deterioration of shelled corn. Transactions of ASAE, St. Joseph, v.38, n.4, p.1139-1145. 1995.
- MORTOLA, V. B.; MEILI, L.; PINTO, L. A. A. Determinação das isotermas de equilíbrio para cebola, gelatina e farinha de pescado: Análise dos modelos de GAB, BET e Henderson. Revista Vetor, v.13, p.79-91, 2003.
- OSIPI, E. A. F.; NAKAGAWA, J. Avaliação da potencialidade fisiológica de sementes de maracujá-doce (*passiflora alata* dryander) submetidas ao armazenamento. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal - SP, v. 27, n. 1, p. 52-54, 2005.
- PANOBIANCO, M.; FILHO, J. M. Envelhecimento acelerado e deterioração controlada em sementes de tomate. Scientia Agricola, v.58, n.3, p.525-531, 2001.
- PEREIRA, J.A.M.; QUEIROZ, D.M. Higroscopia. Centreinar, Viçosa, p. 28, 1987.
- PFOST, H.B.; MAURER, S.G.; CHUNG, D.S. Summarizing and reporting equilibrium moisture data for grains. ASAE, Paper No. 76-3520, St. Joseph, p. 11, 1976.
- RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO D. M. Isotermas e calor isostérico de sorção do feijão. Ciência e Tecnologia dos Alimentos, v.26, p.626-631, 2006.
- SAUER, D.B. Storage of Cereal Grains and Their Products. Fourth Edition, Ed. American Association of Cerial, Inc. 1992, p. 615. 1995.
- SOKHANSANJ, S.; YANG, W. Revision of the ASAE standard D245.4: moisture relationships of grains. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 39, n.2: 639-642, 1996.

SOKHANSANJ, S.; ZHIJIE, W.; JAYAS, D.S. Equilibrium relative humidity- moisture content of rapessed (canola) from 5°C to 25°C. Transactions of ASAE, St. Joseph, v.29, n.3, p.837-839, 1986.

TUNES, L. M. et al. Envelhecimento acelerado em sementes de azevém com e sem solução salina e saturada. Ciência Rural, Santa Maria, v.41, n.1, 2011.