

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**PROPRIEDADES FÍSICAS DE GRÃOS DE TRIGO  
MOURISCO (*Fagopyrum esculentum* Moench) DURANTE A  
SECAGEM**

ALVARO LUIS MACHADO DALLA MARTHA

RAFAEL ARAUJO LEITE

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2018

**PROPRIEDADES FÍSICAS DE GRÃOS DE TRIGO MOURISCO  
(*Fagopyrum esculentum* Moench) DURANTE A SECAGEM**

ALVARO LUIS MACHADO DALLA MARTHA

RAFAEL ARAUJO LEITE

Orientador: PROF. Dr. VALDINEY CAMBUY SIQUEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal da Grande Dourados, como  
parte das exigências para conclusão do curso de  
Engenharia Agrícola.

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2018

**PROPRIEDADES FÍSICAS DE GRÃOS DE TRIGO MOURISCO (*Fagopyrum  
esculentum* Moench) DURANTE A SECAGEM**

Por

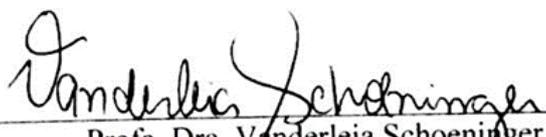
Alvaro Luis Machado Dalla Martha

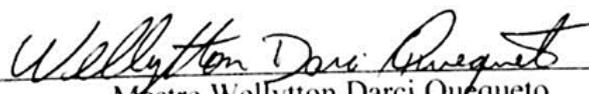
Rafael Araujo Leite

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para  
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÍCOLA

Aprovado em: 12/07/2018

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Valdiney Cambuy Siqueira  
Orientador – UFGD/FCA

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Vanderleia Schoeninger  
Membro da Banca – UFGD/FCA

  
\_\_\_\_\_  
Mestre Wellytton Darci Quequeto  
Membro da Banca – UFGD/FCA

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).**

L533p Leite, Rafael Araujo

PROPRIEDADES FÍSICAS DE GRÃOS DE TRIGO MOURISCO  
(Fagopyrum esculentum Moench) DURANTE A SECAGEM / Rafael Araujo  
Leite, Alvaro Luis Machado Dalla Martha -- Dourados: UFGD, 2018.  
21f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Valdiney Cambuy Siqueira

TCC (Graduação em Engenharia Agrícola) -Faculdade de Ciências Agrárias,  
Universidade Federal da Grande Dourados.

Inclui bibliografia

1. Pós-colheita. 2. Teor de água. 3. Contração volumétrica. I Alvaro Luis  
Machado Dalla Martha II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a)  
autor(a).

## **AGRADECIMENTOS – Alvaro Luis Machado Dalla Martha**

Agradeço a Deus, pela sabedoria, calma, paciência e alegria por concedida a mim por toda minha jornada acadêmica, por me fortalecer e ajudar nos momentos mais difíceis, pois sem ele eu sei que nada é possível.

À Universidade Federal da Grande Dourados, pela assistência e por tornar esse projeto possível.

Aos meus pais, Luis Antônio Dalla Martha e Katiucia Souza Machado Dalla Martha, por todo amor e carinho, me motivando e sempre me ajudando da melhor forma possível daquilo que eles podiam me oferecer, através de muita luta e trabalho. Por me apoiarem e respeitarem minha escolha profissional, escolha essa que amo e que fiz, graças ao meu pai em especial, por seguir seus passos desde pequeno durante toda minha vida.

Ao meu irmão Gabriel Machado Dalla Martha, pelo companheirismo e parceria.

Aos meus tios Laeder Souza Machado e Laederson Souza Machado, pelas brincadeiras, alegrias, rizadas, conselhos, ajudas e puxões de orelha.

À minha vó materna Sônia Souza Machado, por sempre querer meu bem e sempre ter me ajudado em qualquer situação, pelos conselhos, e por quem tenho muita admiração por ser uma mulher forte e batalhadora.

Ao professor Valdiney Cambuy Siqueira, por ter sido em especial meu orientador e ter se tornado um amigo durante a minha graduação, pela paciência e dedicação durante a realização deste trabalho, e por todo ensinamento passado sobre sua área de atuação de pós-colheita de produtos agrícolas.

Ao meu amigo e parceiro de trabalho Rafael Araujo Leite, por ter aceitado a fazer parte desse projeto.

Aos meus amigos de faculdade e do grupo de pós-colheita: Camila, Carolina, Debora, Ebert, Jean, João, Isabela, Lucas, Larissa, Neder, Vinícius e Wellytton, pela ajuda e parceria, e que serão eternos amigos.

A todos aqueles que de alguma forma ou outra, ajudaram nesse trabalho para que ele pudesse ser concluído.

**Obrigado!**

## **AGRADECIMENTOS – Rafael Araujo Leite**

Agradeço à Deus, por ter me concedido saúde, força e disposição para realização deste trabalho. Sem ele, nada disso seria possível. Também sou grato ao Senhor por ter dado saúde aos meus familiares e tranquilizado o meu espírito nos momentos mais difíceis da minha trajetória acadêmica até então.

À Universidade Federal da Grande Dourados por tornar possível a realização desta pesquisa. Sou grato à cada membro do corpo docente, à direção e a administração dessa instituição de ensino.

A minha mãe Suely Araujo da Silva Leite, que sempre foi minha maior fonte de inspiração e força.

A minha família, que desde o início da minha graduação me apoiaram, acompanharam minha dedicação e torceram por mim.

Ao professor, orientador e amigo Valdiney Cambuy Siqueira pelos ensinamentos transmitidos, experiência compartilhada pacientemente, e por toda confiança e dedicação durante esse período.

Ao amigo e colega de trabalho Alvaro Luis Machado Dalla Martha pela paciência e amizade desde o início dessa graduação.

A toda equipe da pós-colheita: Wellytton, Geraldo, Débora, Camila, Lucas, Ebert, Isabela, Caroline, Larissa e Jean por todo suporte neste trabalho, tornando a execução do mesmo possível.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

**Obrigado!**

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO .....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 Trigo Mourisco.....	3
2.2 Secagem.....	4
2.3 Propriedades Físicas .....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3.1 Massa Específica Unitária .....	8
3.2 Massa Específica Aparente .....	8
3.3 Porosidade .....	9
3.4 Contração Volumétrica.....	9
3.5 Análise Estatística.....	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	11
4.1 Massa Específica Unitária e Aparente.....	11
4.2 Porosidade .....	12
4.3 Contração Volumétrica.....	12
5. CONCLUSÃO.....	15
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	16

MARTHA, A. L. M. D.; LEITE, R. A. **Propriedades físicas de grãos de trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) durante a secagem.** 2018. 21p. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

## RESUMO

O trigo mourisco é uma cultura de destaque na agricultura atual devido às suas propriedades nutracêuticas. No entanto, informações dessa cultura referente ao processo pós-colheita são escassas, assim como a caracterização de suas propriedades físicas, sendo que tais informações são essenciais para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de maquinários utilizados nos processos pós-colheita. Deste modo, objetivou-se com a realização do presente trabalho determinar a contração volumétrica, a porosidade, as massas específicas aparente e unitária dos grãos de trigo mourisco ao longo do processo de secagem, bem como ajustar modelos matemáticos aos valores experimentais da contração unitária e da massa. Foram utilizados grãos de trigo mourisco da cultivar IPR 91 – Baili, com teor de água inicial de 0,250 (decimal, base seca). As amostras utilizadas para determinação das propriedades físicas foram submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar estabilizada à temperatura de  $40 \pm 1$  °C. A massa das amostras foi aferida periodicamente, de modo que, quando o produto atingisse valores pré-estabelecidos de teor de água, eram retiradas e encaminhadas para determinação de suas propriedades físicas. Conclui-se que, a redução do teor de água durante a secagem causa o aumento da massa específica aparente e unitária e da porosidade. A redução do teor de água influencia a contração volumétrica da massa e contração volumétrica unitária dos grãos, provocando redução em seus valores de aproximadamente 14,47 e 14,70%, respectivamente, em que ambas as variáveis podem ser representadas satisfatoriamente por um modelo linear.

**Palavras-chave:** Pós-colheita, teor de água, contração volumétrica

## 1. INTRODUÇÃO

O trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) é uma planta dicotiledônea pertencente à família Polygonaceae, sem nenhum parentesco com o trigo comum. Sua farinha não possui glúten, sendo indicado principalmente para celíacos, além disso, afeta positivamente o organismo humano (WRONKOWSKA et al., 2010).

A proteína do trigo mourisco é de excelente qualidade e apresenta alto teor de lisina, um aminoácido essencial e deficiente na maioria dos cereais comuns (RODRIGUES e OLIVEIRA, 2010). Contém fibra alimentar, amido resistente, rutina e sais minerais, além de um elevado nível de ácidos graxos poli-insaturados essenciais e várias vitaminas (SEDEJ et al., 2011).

Diante do potencial econômico, foram realizadas até o momento algumas pesquisas com a cultura, sendo elas sobre produtividade (GÖRGEN et al., 2016), adaptação (ALVES et al., 2016), cultivo (VAZHOV et al., 2013) e propriedades nutricionais (ZHU, 2016). Porém, é muito vago o campo de informações referente à secagem e às propriedades físicas dessa espécie.

O processo de secagem consiste na retirada de parte de água contida nos grãos, proporcionando maior tempo e segurança no armazenamento. Já as propriedades físicas são extremamente importantes para todos os processos pós-colheita, desde a recepção de grãos, pré-limpeza, secagem, limpeza, armazenamento e transporte. Sendo que, normalmente a redução do teor de água promove alterações nas características físicas do produto, e isso pode comprometer todas as operações unitárias.

Dentre as propriedades físicas dos grãos, algumas se destacam quando se considera as etapas de processamento ao qual serão submetidas. Dentre elas, massa específica, porosidade e contração volumétrica. Essas propriedades são fundamentais no dimensionamento, construção e adaptação de diversos equipamentos utilizados no processo pós-colheita. Diversos pesquisadores têm estudado o comportamento dessas variáveis ao longo do processo de secagem (MIR et al., 2013; BOTELHO et al., 2016; PAYMAN et al., 2011; SOUSA et al., 2016; SMANIOTTO et al., 2016).

Devido à importância do trigo mourisco como fonte alimentar, principalmente para os celíacos e da falta de informações das propriedades físicas desse produto durante o processo de secagem, objetivou-se com o presente trabalho determinar a contração volumétrica, a porosidade e as massas específicas aparente e unitária dos grãos de trigo mourisco ao longo do processo de secagem, bem como ajustar modelos matemáticos aos valores experimentais da contração unitária e da massa.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Trigo Mourisco

O cultivo do trigo mourisco no Brasil foi adquirido no início da colonização, principalmente na região sul, com a vinda dos imigrantes poloneses (BRASIL, 2016). O trigo mourisco, também chamado de sarraceno ou trigo preto, é originado das regiões centrais da Ásia e cultivado em área aproximada de 2,7 milhões de hectares/ano, sendo que, a China é o maior produtor mundial de trigo mourisco, seguida da Rússia (FAO, 2000).

No Brasil, o Paraná é o maior estado produtor, obtendo seu auge em 2015, quando produziu cerca de 2.640 toneladas (SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO, 2016). Hoje o foco da produção nacional é a exportação, principalmente para os países da Ásia que utilizam o grão como alimento (FAEP, 2018).

Devido as suas características de composições químicas, os grãos de trigo mourisco vêm sendo utilizado geralmente tanto para alimento humano, através da farinha produzindo pães, panquecas, biscoitos, macarrões, cereais, entre outros, quanto para a animal através da produção de rações, já que sua proteína é de excelente qualidade e é elevada no aminoácido lisina, ao contrário de outros cereais comuns (CAMPBELL, 1997).

No cerrado brasileiro, tem grande importância na utilização como adubo verde e implantação no sistema de rotação de cultura pelo seu ciclo curto e baixo investimento. Também se destaca na produção de feno e silagem, pois tem grande potencial de desenvolvimento em terras ácidas, de baixa fertilidade, e com baixa umidade, com baixa custo de implantação em relação as gramíneas, podendo assim ser implantadas substituindo as gramíneas pois tem o mesmo valor nutritivo (GORGEN, 2013).

Diante da grande rusticidade dessa cultura, múltiplos usos, e de ciclo curto, o mourisco está sendo redescoberto em vários países, devido ao seu potencial de utilização como alimento medicinal, dietético e nutricional (GORGEN, 2013). Do ponto de vista nutricional, o grande destaque está na farinha obtida do grão seco, que pode ser utilizada na fabricação de massas, bolos, biscoitos, pães, sopas, entre outros (SILVA et al., 2002), e apresenta a característica de não conter glúten, podendo assim ser utilizada por pessoas portadoras de doenças de saúde como alergias e intolerância à esta proteína como a doença celíaca (CHRISTA e SORAL-ŠMIETANA, 2008).

Hoje, sabe-se que a doença celíaca afeta cerca de 1% da população, em certas regiões do mundo (BRIANI et al., 2008). E por se tratar de uma doença que é controlada com base na alimentação, o trigo mourisco assume um papel fundamental. Além disso, o trigo mourisco é uma grande fonte de fibra dietética solúvel, e fibra dietética total, que são aplicados na prevenção obesidade (BRENNAN, 2005).

Além de não conter glúten em sua composição, o mourisco também é destaque na alta concentração de proteínas, sais minerais e vitaminas, e por sua excelente qualidade de proteína, com alto teor de lisina, um aminoácido essencial deficiente na maioria dos cereais (RODRIGUES e OLIVEIRA, 2010). Experiências tem demonstrado que a extração da proteína do trigo mourisco pode ser utilizada como um potencial suplemento alimentar funcional para tratar a obesidade, alcoolismo, hipertensão, como também a constipação (KATO et al., 2001; TOMOTAKE et al., 2002). Em alguns países onde há carência de proteínas, durante o processo de panificação, é aconselhável a adição da farinha de mourisco para obter maiores valores energéticos do mesmo (SILVA et al., 2002).

Considerando o potencial da cultura do trigo mourisco nos mais diversos setores da cadeia produtiva e a carência de trabalhos científicos. Estudar seu comportamento durante as etapas pós-colheita é essencial, pois esta assume um papel de suma importância junto ao custo de processamento, valor de comercialização, renda líquida do produtor e qualidade final do produto comercializado.

## **2.2 Secagem**

Por definição, secagem é o processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem. Esse processo consiste na extração de parte da água contida no grão, permitindo assim uma conservação por mais tempo e diminuição dos custos logísticos (SILVEIRA et al., 2013). Por isso, a realização da secagem visando deixar os grãos em condições ideais de armazenamento é considerada uma das mais importantes operações na fase de pós-colheita (ANDRADE et al., 2006). Com a retirada do excesso de água, têm-se a redução da atividade de água dos grãos diminuindo a taxa respiratória, e conseqüentemente as reações metabólicas que resultam na perda de massa.

A secagem pode ser realizada tanto artificialmente quanto naturalmente, ambas contendo suas vantagens e desvantagens. Como as vantagens da secagem artificial são consideravelmente maior que a natural, principalmente por evitar perdas no campo e maior agilidade desta etapa pós-colheita. Essa é a técnica mais usada pelos produtores e unidades armazenadoras de grãos e sementes.

Na secagem artificial, os processos podem ser realizados em silos secadores, secagem intermitente, secagem contínua e seca-aeração (DELIBERALI et al., 2009). Durante o processo de secagem artificial, o excesso de água é removido rapidamente até o limite conveniente, fazendo assim com que se minimize as alterações metabólicas nos grãos e os danos causados pela ação de fungos e insetos (OLIVEIRA et al., 2010).

É possível empregar altas ou baixas temperaturas durante o processo de secagem. No entanto, cada produto responde de maneira diferente a cada temperatura de secagem. Essa resposta está associada à sua propriedade física e composição química. No caso do trigo comum (*Triticum aestivum*), quando a secagem é realizada naturalmente a temperatura ambiente e/ou artificial aquecida em baixas temperaturas, se tem mínimas alterações qualitativas, favorecendo assim para a manutenção da qualidade original do produto (DIAS et al., 2007). O emprego de altas temperaturas do ar, proporciona maior velocidade de secagem, no entanto, é comum observar alterações na qualidade tecnológica das proteínas formadoras de glúten (DELIBERALI et al., 2009).

A secagem realizada de modo muito rápida, decorrente das altas temperaturas e maiores fluxos de ar, promovem um maior gradiente de umidade aumentado entre a superfície do grão e o seu interior, causando tensões internas que comprometem a qualidade do grão para a panificação, desestruturando as moléculas das proteínas que formam o glúten (MARTINS et al., 2018).

Considerando que as condições de secagem afetam diretamente a qualidade do trigo comum, comprometendo seu rendimento e a qualidade da farinha produzida, é de se esperar que situações semelhantes aconteçam com o trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench). Que embora seja de outro gênero, têm a mesma finalidade, com a vantagem de não conter glúten em sua composição. Assim, trabalhos que envolvam a secagem deste produto são de extrema relevância, não só para qualidade nutricional do trigo mourisco, mas também para o conhecimento do seu comportamento durante esta etapa pós-colheita.

### **2.3 Propriedades Físicas**

As propriedades físicas dos grãos são características relevantes na otimização dos processos industriais e no desenvolvimento de novos projetos e equipamentos utilizados nas operações pós-colheita (RIBEIRO et al., 2005). Variações dessas propriedades em função do teor de água e de outros fatores durante a secagem de vários produtos, têm sido investigadas por diversos autores (KROKIDA e MAROULIS, 1997; MCMINN e MAGEE, 1997; RUFFATO et al., 1999; ARAUJO et al., 2013;).

As mudanças volumétricas dos produtos, devido a sua desidratação, são relatadas como sendo as principais causas das alterações das propriedades físicas de grãos agrícolas (RATTI, 1994; SOKHANSANJ e LANG, 1996). As informações a respeito das propriedades físicas dos produtos agrícolas, são consideradas de grande importância para estudos que envolvem transferência de calor e massa e movimentação de ar em massas granulares (GONELI et al., 2011).

A massa específica real ou unitária de partículas sólidas granulares, tais como grãos e cereais, pode ser estimada, a partir do conhecimento da composição química do produto (LEWIS et al., 1993) ou mesmo, através da simples relação entre a massa e o volume ocupado por um único produto. Ela nada mais é que uma propriedade que assume elevada importância para efeito de comercialização do produto, uma vez que os preços praticados consideram esta característica como um indicativo de qualidade e rendimento (CORRÊA et al., 2005). Além disso, a massa específica aparente é um conceito de extrema importância para a comercialização, dimensionamento de silos, secadores, depósitos e sistemas de transportes, podendo também ser utilizado para determinar teores de água e danos causados por insetos nos produtos armazenados (SILVA et al., 2008).

Porosidade é a relação entre o volume ocupado pelo ar intergranular de determinado produto e o volume total ocupado por esta massa granular (SIQUEIRA et al., 2012). Segundo os mesmos autores, o teor de água dos produtos agrícolas é um importante fator que determina a variação da porosidade dos grãos, pois grãos com maiores teores de água apresentam uma tensão superficial maior que grãos mais secos. Além disso, o percentual de espaços “vazios” depende do tamanho e da forma do material tal como das características de sua superfície, sendo assim, a massa do produto com superfície rugosa tende a apresentar mais espaços vazios do que uma massa de grãos com superfície lisa (ARAUJO et al., 2013).

No início da secagem, aparentemente, o produto permanece com a estrutura intacta e mantém sua forma original, porém, com a retirada de água, acontece o seu encolhimento que é acompanhado de deformação das partículas, formação de poros e demais mudanças microestruturais (KOÇ et al., 2008). Essas alterações modificam a forma e o tamanho do produto e, conseqüentemente a porosidade da massa.

O conhecimento da porosidade intergranular do produto é de suma importância, pois ela está nos estudos da transferência de calor e massa, nos processos hidrodinâmicos, aerodinâmicos e termoelétricos (MATA e DUARTE, 2002), a exemplo dos processos de secagem e aeração de grãos, que envolvem a passagem de ar em meio uma massa porosa. Sendo que quanto mais porosa for esta massa, mais facilmente o ar passará pela mesma, em decorrência da menor resistência.

A redução nas dimensões características dos grãos e sementes é chamada de contração volumétrica, e a redução no seu teor de água através do processo de secagem é a principal causa deste efeito. A contração volumétrica pode ser muito intensiva, dependendo do método de secagem aplicado (KROKIDA e MAROULIS, 1997) e das condições de secagem, afetando os parâmetros da transferência de calor e massa e devendo ser considerada no estabelecimento de modelos de secagem (RAMOS et al., 2003).

Observa-se que a contração volumétrica de produtos vegetais durante a secagem não é em função exclusiva do teor de água, mas também, das condições do processo e da geometria do produto (RATTI, 1994; ZOGZAS et al., 1994). Segundo Ramos et al. (2003), a redução do teor de água, durante o processo de secagem, origina uma redução no tamanho do tecido celular, fenômeno este que usualmente é chamado de contração volumétrica. Que de acordo com Khraisheh et al. (2004) ocorre de maneira heterogênea.

O encolhimento volumétrico é totalmente significativo durante o processo de secagem (KOÇ et al., 2008). A análise desta variável é muito importante durante o processo de secagem, pois permite estimar a variação do volume ocupado pela massa de grãos, como redução do teor de água (SIQUEIRA et al., 2012).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Propriedades Físicas de Produtos Agrícolas da Faculdade de Ciências Agrárias, pertencente à Universidade Federal da Grande Dourados, localizada no município de Dourados, MS.

Foram utilizados grãos de trigo mourisco da cultivar IPR 91 – Baili, doados por (DIAS e TAVARES, 2017). Os grãos foram colhidos manualmente, com teor de água inicial de 0,250 (decimal, b.s.).

O teor de água inicial das amostras foi determinado utilizando o método de estufa descrito pela Regra para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), utilizando estufa de ventilação forçada a  $105 \pm 1$  °C, durante 24 h, em três repetições.

As amostras de trigo mourisco utilizadas para determinação das propriedades físicas foram submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar estabilizada à temperatura de  $40 \pm 1$  °C, proporcionando umidade relativa de  $22 \pm 2,3\%$ , sendo este valor obtido por meio de princípios básicos de psicrometria. O acompanhamento da secagem foi feito por diferença de massas, conhecendo o teor de água inicial do produto. Após o início da secagem, a massa das amostras foi aferida periodicamente, utilizando uma balança semi-analítica com resolução de 0,01 g, de modo que, quando o produto atingisse valores preestabelecidos de teor de água (0,250; 0,234; 0,219; 0,204; 0,190; 0,176; 0,162; 0,149 e 0,136 decimal b.s.), as amostras eram retiradas e encaminhadas para determinação de suas propriedades físicas.

#### 3.1 Massa Específica Unitária

A massa específica unitária  $\text{kg m}^{-3}$  da massa de grãos foi determinada pelo método direto, com a adição de hexano, em uma massa conhecida granular, sendo esse solvente utilizado devido possuir baixa massa específica e não ser absorvido pelos grãos (DONADON et al., 2012). Utilizou-se para os testes um balão volumétrico de 25 ml e uma bureta de 50 ml. Conhecendo-se a massa dos grãos, a massa e o volume do balão e a densidade do solvente, obteve-se o volume total da amostra, que após sua divisão pelo número de grãos (50), determinou-se o volume individual.

#### 3.2 Massa Específica Aparente

A massa específica aparente ( $\rho_{ap}$ ), em  $\text{kg m}^{-3}$ , para do produto foi determinada utilizando uma balança de peso hectolítrico, com volume de 1 L, com 3 repetições para cada teor de água, conforme descrito por SIQUEIRA et al. (2012).

### 3.3 Porosidade

A porosidade ( $\varepsilon$ , em %) das sementes de trigo mourisco foi calculada indiretamente por meio da Equação 1 (MOHSENIN, 1986), tradicionalmente utilizada para os produtos agrícolas.

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_u}\right) \times 100 \quad (1)$$

### 3.4 Contração Volumétrica

Para a determinação do índice de contração volumétrica unitária e da massa dos grãos de trigo mourisco foi calculada a razão entre o volume do produto em determinado instante pelo volume inicial do mesmo, conforme na Equação 2 (SIQUEIRA et al., 2012).

$$\Psi = V/V_0 \quad (2)$$

em que:

$\Psi$ : Índice de contração volumétrica, adimensional;

$V$ : volume (da massa ou do grão) em determinado instante,  $\text{cm}^3$ ; e,

$V_0$ : volume inicial (da massa ou do grão),  $\text{cm}^3$ .

O acompanhamento da contração volumétrica da massa foi realizado com base em um volume inicial de  $150 \text{ cm}^3$  ( $150 \text{ mL}$ ) de grãos de trigo mourisco, o qual foi verificado a redução desse volume, no decorrer da secagem, transferindo a massa de grãos para uma proveta de  $150 \text{ cm}^3$ , e anotando o volume para os teores de água pré-determinados durante a secagem. Para cada teor de água amostrado foi realizado três determinações do volume da massa, na proveta de  $150 \text{ cm}^3$ , em que o volume da massa, para cada teor de água, foi determinado pela média das três medições.

Aos dados experimentais do índice de contração volumétrica da massa e unitária dos grãos de trigo mourisco foram ajustados os modelos matemáticos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para representar o índice de contração volumétrica unitária e da massa dos grãos de trigo mourisco em função do teor de água

Designação do modelo	Modelo	
Rahman (1995)	$\Psi = 1 + \beta (U - U_0)$	(3)
Corrêa et al. (2004)	$\Psi = 1/[a + b \exp (U)]$	(4)
Exponencial	$\Psi = a \exp (b U)$	(5)
Linear	$\Psi = a + b U$	(6)
Polinomial	$\Psi = a + b U + c U^2$	(7)
Bala & Woods mod. (1984)	$\Psi = 1 - a\{1 - \exp [-b (U_0 - U)]\}$	(8)

em que:

U - teor de água do produto, decimal b.s.;

$U_0$  - teor de água inicial do produto, decimal b.s.;

a, b, c - parâmetros que dependem do produto, adimensional; e,

$\beta$  - coeficiente de contração volumétrica, adimensional.

### 3.5 Análise Estatística

Os dados experimentais referentes à massa específica aparente e unitária e porosidade dos grãos de trigo mourisco, foram submetidos à análise de regressão linear. Para o ajuste dos modelos de regressão, utilizou-se o programa computacional SigmaPlot 11.0. Foram utilizados como critérios de seleção o nível de significância do modelo pelo teste F, juntamente com os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Os dados experimentais de contração volumétrica unitária e da massa foram submetidos à análise de regressão não linear, pelo método de Gauss-Newton. Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais, foi utilizado o programa computacional Statistica 7.0.

Os modelos para representar o índice de contração volumétrica foram selecionados considerando os valores do erro médio relativo (P), do desvio padrão da estimativa (SE), do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Os valores do erro médio relativo e do desvio padrão da estimativa foram calculados conforme as Equações. 9 e 10 (SIQUEIRA et al., 2012):

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right) \quad (9)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (10)$$

em que:

n - número de observações experimentais;

Y - valor experimental;

$\hat{Y}$  - valor estimado pelo modelo; e,

GLR - graus de liberdade do modelo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Massa Específica Unitária e Aparente

Houve aumento da massa específica aparente e da massa específica unitária dos grãos de trigo mourisco com a redução do teor de água (FIGURA 1). Os valores estimados da massa específica aparente e unitária para o trigo mourisco variaram entre 633,24 a 663,91 kg m<sup>-3</sup> e 1089,28 a 1252,17 kg m<sup>-3</sup>, respectivamente, para o teor de água do produto variando de 0,250 a 0,136 (decimal, b.s.). Este comportamento é semelhante a maioria dos produtos agrícolas pesquisados (JESUS et al., 2013; DEVILLA et al., 2012; THEERTHA et al., 2014; FIROUZI et al., 2009; PAYMAN et al., 2011).

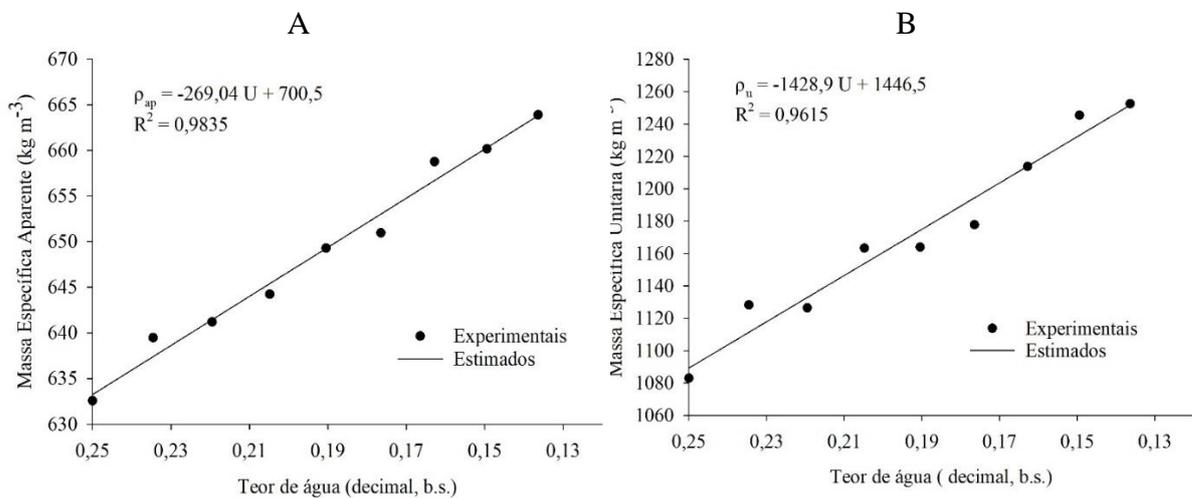


Figura 1. Valores experimentais e estimados da massa específica aparente ( $\rho_{ap}$ ) (A) e unitária ( $\rho_u$ ) (B) dos grãos de trigo mourisco em função do teor de água (U).

Com o decréscimo do teor de água e consequentemente do volume, os grãos se arranjam mais facilmente dentro do recipiente da estufa de secagem, aumentando os valores da massa específica aparente, como descrito por SIQUEIRA et al. (2012). Já a massa específica unitária tende a aumentar porque os principais constituintes do grão (carboidratos e proteínas) têm densidade maior que da água que foi removida com o processo de secagem.

Observa-se ainda na Figura 1 (A e B) que a variação das massas específicas aparente e unitária em função da redução do teor de água podem ser representadas, satisfatoriamente, por meio de modelos lineares, como verificado por outros pesquisadores (SOLOMON e ZEWDU, 2009; SOUSA et al., 2016).

## 4.2 Porosidade

A porosidade apresenta aumento dos seus valores com a diminuição do teor de água (FIGURA 2). Kibar e Öztürk (2008), Kingsly et al. (2006), relataram um aumento semelhante nos espaços vazios da massa de grãos de soja e romã, respectivamente. O modelo linear representa satisfatoriamente aos valores experimentais, apresentando elevado valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). A porosidade da massa de grãos apresentou para o trigo mourisco valores estimados entre 41,98 a 47,06%, na faixa de teor de água estudada.

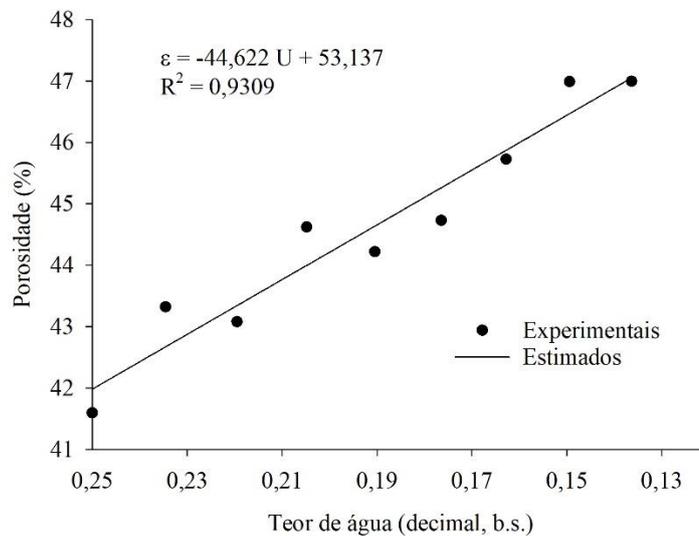


Figura 2. Valores experimentais e estimados da porosidade ( $\varepsilon$ ) da massa de trigo mourisco em função do teor de água (U).

## 4.3 Contração Volumétrica

Na Tabela 2, encontram-se as equações de regressão para contração volumétrica da massa e contração volumétrica unitária de grãos de trigo mourisco, em função do teor de água, com seus respectivos coeficientes de determinação e erro médio relativo e estimado. Todos os modelos ajustados apresentam valores reduzidos de erro médio relativo, sendo todos inferiores a 10. Segundo Mohapatra e Rao (2005) o erro médio relativo é um parâmetro que pode ser utilizado para recomendação ou não de um modelo. Os valores de erro médio relativo refletem o desvio dos valores observados com relação a curva estimada pelo modelo (KASHANINEJAD et al., 2007). Logo, neste caso, o desvio pode ser considerado aceitável.

O desvio padrão da estimativa (SE) demonstra a capacidade de um modelo em descrever com precisão um determinado processo físico, e que quanto menor seu valor, melhor será a qualidade de ajuste do modelo em relação aos dados experimentais (SIQUEIRA et al., 2012). Assim, todos os modelos utilizados apresentam bom ajuste, tanto para a contração volumétrica da massa, quanto unitária, já que seus valores são muito baixos.

O bom comportamento dos modelos em relação aos dados experimentais, também pode ser observado nos valores do coeficiente de determinação, que apresentou valores superiores a 0,95 para todas as condições. Madamba et al. (1996) afirmam que isso indica representação satisfatória por parte dos modelos utilizados.

Tabela 2. Modelos de contração volumétrica massa e contração volumétrica unitária dos grãos de trigo mourisco com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ , decimal) e erro médio estimado (SE, decimal) e relativo (P, %)

Modelos	Massa			Unitária		
	P	SE	$R^2$	P	SE	$R^2$
Rahman (1995)	0,4999	0,0062	0,9863	0,8725	0,0116	0,9546
Corrêa et al. (2004)	0,4550	0,0057	0,9940	0,9282	0,0119	0,9758
Exponencial	0,5011	0,0062	0,9931	0,8414	0,0106	0,9810
Linear	0,4660	0,0057	0,9941	0,8183	0,0100	0,9832
Polinomial	0,4860	0,0058	0,9939	0,7217	0,0095	0,9870
Bala & Woods mod.	0,4418	0,0059	0,9875	0,8725	0,0116	0,9546

A análise conjunta dos parâmetros estatísticos permite afirmar que todos os modelos utilizados para representar a contração volumétrica da massa e contração volumétrica unitária dos grãos de trigo mourisco podem ser recomendados com elevada confiabilidade, uma vez que todos apresentaram baixos valores de SE, valores de P inferiores a 10% e valores de  $R^2$  superiores a 95% (DRAPER e SMITH, 1998; GONELI et al., 2011; SIQUEIRA et al., 2012).

Dentre todos os modelos ajustados, o modelo Linear é o mais simples, e por isso foi utilizado para descrever o fenômeno da contração. Além disso, ele tem sido recomendado para representar a contração volumétrica de outros produtos agrícolas, como: soja (SMANIOTTO et al., 2016), feijão (DEVILLA et al., 2012) e amendoim (PAYMAN et al., 2011). Verifica-se na Figura 3 o excelente ajuste do modelo, representando com fidelidade o comportamento da contração da massa e dos grãos do trigo mourisco.

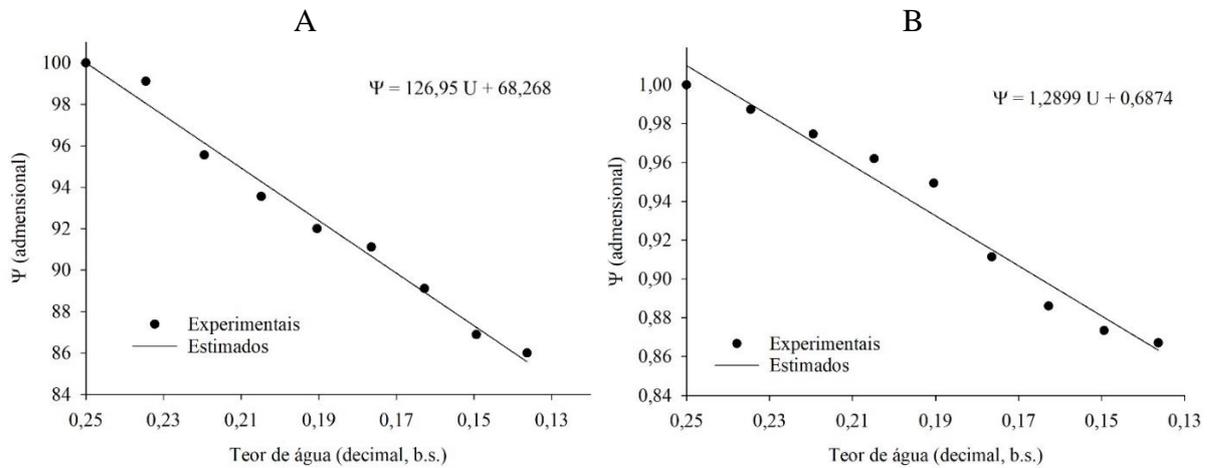


Figura 3. Valores do índice de contração volumétrica da massa (A) e contração volumétrica unitária (B) de grãos, experimentais e estimados, pelo modelo linear em função do teor de água para o trigo mourisco.

De acordo com os resultados, verifica-se que os dados experimentais da massa de grãos de trigo mourisco, apresentaram uma redução do volume inicial na ordem de 14,47% e a contração volumétrica unitária, seguindo mesmo comportamento, foi de 14,70% para o intervalo de teor de água entre 0,250 a 0,136 (decimal, b.s.). Adotando-se o modelo Linear para representação da contração têm-se que, para cada variação de 0,01 decimal (b.s.) no teor de água ocorre variação de 0,0128% na contração volumétrica unitária. Já para a contração volumétrica da massa ocorre variação de 0,0129%. Essas informações são de extrema importância para otimizar o uso de secadores e dimensionar estruturas para armazenagem do produto.

## 5. CONCLUSÃO

A redução do teor de água durante a secagem causa o aumento da massa específica aparente e unitária e porosidade, além de influenciar a contração volumétrica da massa e unitária dos grãos de trigo mourisco, provocando redução em seus valores de aproximadamente 14,47 e 14,70%, respectivamente, em que ambas as variáveis podem ser representadas satisfatoriamente pelo modelo de contração linear.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J. D. C.; SOUZA, A. P. D.; PÔRTO, M. L.; FONTES, R. L.; ARRUDA, J.; MARQUES, L. F. Potential of sunflower, castor bean, common buckwheat and vetiver as lead phytoaccumulators. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.3, p.243-249, 2016.
- ANDRADE, E. T.; CORRÊA, P. C.; TEIXEIRA, L. P.; PEREIRA, R. G.; CALOMENI, J. F. Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão. **Engevista**, v.8, n.2, p.83-95, 2006.
- ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L.; SOUZA, C. D., GONÇALVES, A. A.; VILHASANTI, H. C. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.1, p.279-286, 2013.
- BOTELHO, F.M.; CORRÊA, P.C.; BOTELHO, S. D. C. C.; ELÍAS, G. A. V.; ALMEIDA, M. D. S. D.; OLIVEIRA, G. H. H. Propriedades físicas de frutos de café robusta durante a secagem: determinação e modelagem. **Coffee Science**, v.11, n.1, p.65-75, 2016.
- BRASIL, V. C. B. **Estudo do uso de trigo sarraceno cultivado na Região Centro-Oeste para produção de cerveja artesanal**. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Curso de Química Tecnológica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA 2009.395p.
- BRENNAN, C. S. Dietary fibre, glycaemic response, and diabetes. **Molecular Nutrition & Food Research**, v.49, n.6, p.560-570, 2005.
- BRIANI, C.; SAMAROO, D. Celiac disease: from gluten to autoimmunity. **Autoimmunity Reviews**, v.7, n.8, p.644-650, 2008.
- CAMPBELL, C. G. 1997. Buckwheat. *Fagopyrum esculentum* Moench. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 19. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- CHRISTA, K.; SORAL-ŠMIETANA, M. Buckwheat grains and buckwheat products–nutritional and prophylactic value of their components–a review. **Czech Journal Food Sci**, v.26, n.3, p.153-162, 2008.
- CORRÊA, P. C.; RIBEIRO, D. M.; RESENDE, O.; BOTELHO, F. M. Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.665-670, 2005.

- DIAS, L. M.; TAVARES, L. A. de O. **Adaptabilidade do trigo mourisco na região do cerrado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2017.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3. ed. New York: Wiley, 1998. 736p.
- DELIBERALI, J.; OLIVEIRA, M.; DURIGON, A.; DIAS, Á. R. G.; GUTKOSKI, L. C.; ELIAS, M. C. Efeitos de processo de secagem e tempo de armazenamento na qualidade tecnológica de trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.5, p.1285-1292, 2009.
- DEVILLA, I. A.; OLIVEIRA NETO, M. C. DE; REIS, R. C. Propriedades Físicas de Sementes de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) Variedade "Emgopa 201-Ouro". **Revista Agrotecnologia**, v.1, n.1, p.99-110, 2012.
- DIAS, Á. R. G.; ANTUNES, P. L.; ELIAS, S.A.A.; ANTUNES, P.L. Operações de pré-armazenamento, armazenamento e conservação de grãos. *In*: ELIAS, M.C. **Pós-colheita de arroz: secagem, armazenamento e qualidade**. 1. ed. Pelotas: ELIAS, M. C., 2007. cap.3, p.147-244.
- DONADON, J. R.; RESENDE, O.; CASTRO, C. F. S.; MENDES, U. C.; GONCALVES, D. N. Comparação entre o tolueno e o hexano na determinação da porosidade intergranular de diferentes produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.37, n.2, p.37-40, 2012.
- FAEP. Trigo mourisco: sem glúten, com mercado. Disponível em: <<http://sistemafaep.org.br/trigo-mourisco-sem-gluten-com-mercado/>>. Acesso em: 4 jun. 2018.
- FAO. Statistician trade statistics, worldwide about buckwheat. Rome, 2000.
- FIROUZI, S.; VISHGAEI, M.N.S.; KAVIANI, B. Some physical properties of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) kernel cv. NC2 as a function of moisture content. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, v.6, n.6, p.675-679, 2009.
- GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; MAGALHÃES F. E. A. de; BAPTESTINI F. M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33, n.1, p.1-8, 2011.
- GORGEN, A. V. **Produtividade e qualidade da forragem de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR) e de trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) cultivado no cerrado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Curso de Agronomia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.

- GÖRGEN, A. V.; CABRAL FILHO, S. L. S.; LEITE, G. G.; SPEHAR, C. R.; DIOGO, J. M. S.; FERREIRA, D. B. Produtividade e qualidade da forragem de trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) e de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R.BR). **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.17, n.4, p.599-607, 2016.
- JESUS, F. F.; SOUZA, R. T. G.; TEIXEIRA, G. C. S.; TEIXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A. Propriedades físicas de sementes de feijão em função de teores de água. **Engenharia na Agricultura**, v.21, n.1, p.09-18, 2013.
- KATO, N.; KAYASHITA, J.; TOMOTAKE, H. Nutritional and physiological functions of buckwheat protein. **Recent Research Development Nutrition**, p.113-119, 2001.
- KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L.G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v.78, n.1, p.98-108, 2007.
- KIBAR, H.; ÖZTÜRK, T. Physical and mechanical properties of soybean. **International Agrophysics**, v.22, n.3, p.239-244. 2008.
- KINGSLEY, A. R. P.; SINGH, D. B.; MANIKANTAN, M. R.; JAIN, R. K. Moisture dependent physical properties of dried pomegranate seeds (*Anardana*). **Journal of Food Engineering**, v.75, n.4, p.492-496, 2006.
- KOÇ, B.; EREN, I.; ERTEKIN, F. K.. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. **Journal of Food Engineering**, v.85, n.3, p.340-349, 2008.
- KHRAISHEH, M. A. M.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. **Food research international**, v.37, n.5, p.497-503, 2004.
- KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B. Effect of drying method on shrinkage and porosity. **Drying technology**, v.15, n.10, p.2441-2458, 1997.
- LEWIS, M. J. **Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado**. 1. ed. Zaragoza: Acribia S.A., 1993. 514p.
- MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The thin layer drying characteristic of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v.29, n.1, p.75-97, 1996.
- MARTINS, R. R.; FRANCO, J. B. R.; OLIVEIRA, P. A. V.; ANGONESE, C. Secagem de grãos para propriedade familiar. *In*: LORINI, I.; MIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M.; FARONI, L. R. D. **Armazenagem de grãos**. 2. ed. Jundiaí: LORINI et. al., 2018. cap.3, p.185-230.
- MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M. Porosidade intergranular de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4, n.1, p.79-93, 2002.

- MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Physical characteristics of dehydrated potatoes—Part I. **Journal of Food Engineering**, v.33, n.1-2, p.37-48, 1997.
- MIR, S.A.; BOSCO, S.J.D.; SUNOOJ, K.V. Evaluation of physical properties of rice cultivars grown in the temperate region of India. **International Food Research Journal**, v.20, n.4, p.1521-1527, 2013.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v.66, n.4, p.513-518, 2005.
- MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. 2. ed. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.
- OLIVEIRA, L. da C.; GUTKOSKI, L. C.; ELIAS, M. C.; MAZUTTI, S.; AOSANI, E.; ROCHA, J. C. da. Efeito da temperatura de secagem na qualidade de grãos de aveia branca. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.2, p.313-319, 2010.
- PAYMAN, S.H.; AJDADI, F.R.; BAGHERI, I.; ALIZADEH, M.R. Effect of moisture content on some engineering properties of peanut varieties. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v.9, n.3 e 4, p.326-331, 2011.
- RAMOS, I. N.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. Structural changes during air drying of fruits and vegetables. **Food Science and Technology International**, v.9, n.3, p.201-206, 2003.
- RATTI, C. Shrinkage during drying of foodstuffs. **Journal of Food Engineering**, v.23, n.1, p.91-105, 1994.
- RIBEIRO, D. M.; CORRÊA, P. C.; RODRIGUES, D. H.; GONELI, A. L. Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.3, p.611-617, 2005.
- RODRIGUES, C.M.; OLIVEIRA, V.R. Utilização de farinha de trigo sarraceno em associação com farinha de arroz e soja na elaboração de minipizzas. **Alimentos e Nutrição**, v.21, n.1, p.21-24, 2010.
- RUFFATO, S.; CORRÊA, P. C.; MARTINS, J. H.; MANTOVANI, B. M.; SILVA, J. N. da. Influência do processo de secagem sobre a massa específica aparente, massa específica unitária e porosidade de milho-pipoca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.1, p.45-48, 1999.
- SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. Levamento de Safra e Produção. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/>>. Acesso em: 4 jun. 2018.
- SEDEJ, I.; SAKAČ, M.; MANDIĆ, A.; MIŠAN, A.; PESTORIĆ, M.; ŠIMURINA, O.; ČANADANOVIĆ-BRUNET, J. Quality assessment of gluten-free crackers based on buckwheat flour. **Food Science and Technology**, v.44, n.3, p.694-699, 2011.

- SILVA, D.B. da; GUERRA, A.F.; SILVA, A.C.; PÓVOA, J.S.R. **Avaliação de genótipos de mourisco na região do Cerrado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento.** Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2002.
- SILVA, J. S. **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas.** Viçosa: Aprenda Fácil, 2008. Disponível em: <<http://www.poscolheita.com.br/>>. Acesso em: 28 mai. 2018.
- SILVEIRA, A. C. P.; PERRONE, I. T.; RODRIGUES JUNIOR, P. H.; CARVALHO, A. F. Secagem por spray: uma revisão. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v.68, n.391, p.51-58, 2013.
- SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Propriedades físicas dos frutos de pinhão-mansão durante a secagem. **Global Science and Technology**, v.5, n.1, p.83-92, 2012a.
- SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Determination of the volumetric shrinkage in jatropha seeds during drying. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.34, n.3, p.231-238, 2012.
- SOKHANSANJ, S.; LANG, W. Prediction of kernel and bulk volume of wheat and canola during adsorption and desorption. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.63, n.2, p.129-136, 1996.
- SMANIOTTO, T. A. de S.; RESENDE, O.; DE OLIVEIRA, D. E. C.; SIQUEIRA, V. C.; SOUSA, K. A. Ajuste de modelos matemáticos a contração volumétrica unitária e da massa dos grãos de soja. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.9, n.4, p.397-404, 2016.
- SOLOMON, W. K.; ZEWDU, A. D. Moisture-dependent physical properties of niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) seed. **Industrial crops and products**, v.29, n.1, p.165-170, 2009.
- SOUSA, R. V. de; MATA, M. E. R. C.; DUARTE, M. E. M.; ALMEIDA, R. D.; ROSA, M. E. C.; DE SOUSA, A. C. Influência do teor de água nas propriedades físicas dos grãos de arroz vermelho em casca. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.18, n. especial, p.495-502, 2016.
- THEERTHA, D.P.; SUJEETHA, J.A.R.P.; ABIRAMI, C.V.K.; ALAGUSUNDARAM, K. Effect of moisture content on physical and gravimetric properties of black gram (*Vigna mungo* L.). **International Journal of Advancements in Research & Technology**, v.3, n.3, p.97-104, 2014.
- TOMOTAKE, H.; SHIMAOKA, I.; KAYASHITA, J.; NAKAJOH, M.; KATO, N. Physico-chemical and functional properties of buckwheat protein product. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.50, n.7, p.2125-2129, 2002.
- VAZHOV, V. M.; KOZIL, V. N.; ODINTSEV, A. V. General methods of buckwheat cultivation in Altai region. **World Applied Sciences Journal**, v.9, n.23, p.1157-1162 2013.

WRONKOWSKA, M.; ZIELIŃSKA, D.; SZAWARA-NOWAK, D.; TROSZYŃSKA, A.; SORAL-ŚMIETANA, M. Antioxidative and reducing capacity, macroelements content and sensorial properties of buckwheat-enhanced gluten-free bread. **International Journal of Food Science & Technology**, v.45, n.10, p.1993-2000, 2010.

ZHU, F. Chemical composition and health effects of Tartary buckwheat. **Food Chemistry**, v.203, p.231-245, 2016.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Densities, shrinkage and porosity of some vegetables during air drying. **Drying technology**, v.12, n.7, p.1653-1666, 1994.