



BÁRBARA LEMES OUTEIRO ARAÚJO

**PROCESSAMENTO DE GRÃOS DE *Moringa oleifera* Lam. E
SEU EFEITO NO RENDIMENTO E QUALIDADE DO ÓLEO E
DA TORTA**

LAVRAS – MG

2019

BÁRBARA LEMES OUTEIRO ARAÚJO

**PROCESSAMENTO DE GRÃOS DE Moringa oleifera Lam. E SEU EFEITO NO
RENDIMENTO E QUALIDADE DO ÓLEO E DA TORTA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Strictu-Sensu* em Engenharia Agrícola, na área de concentração em Processamento de Produtos Agrícolas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade
Orientador

Prof. Dr. Pedro Castro Neto
Coorientador

LAVRAS – MG

2019

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Araújo, Bárbara Lemes Outeiro.

Processamento de grãos de *Moringa oleifera* Lam. e seu efeito
no rendimento e qualidade do óleo e da torta / Bárbara Lemes
Outeiro Araújo. - 2019.

55 p.

Orientador(a): Ednilton Tavares de Andrade.

Coorientador(a): Pedro Castro Neto.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Secagem. 2. Modelagem matemática. 3. Ácidos graxos. I.
Tavares de Andrade, Ednilton. II. Castro Neto, Pedro. III. Título.

BÁRBARA LEMES OUTEIRO ARAÚJO

**PROCESSAMENTO DE GRÃOS DE Moringa oleifera Lam. E SEU EFEITO NO
RENDIMENTO E QUALIDADE DO ÓLEO E DA TORTA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Strictu-Sensu em Engenharia Agrícola, na área de concentração em Processamento de Produtos Agrícolas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 13/08/2019.

Ednilton Tavares de Andrade UFLA

Pedro Castro Neto UFLA

Leonardo Milani Avelar Rodrigues UESB

Prof. Dr. Ednilton Tavares de Andrade
Orientador

Prof. Dr. Pedro Castro Neto
Coorientador

**LAVRAS – MG
2019**

*Às pessoas que amo, que dão sentido a toda minha existência, meus pais
João Luiz e Sandra, às minhas irmãs Ana Carolina e Laura,
às minhas sobrinhas Beatriz e Helena,
à minha amiga Patrícia
Dedico!*

AGRADECIMENTOS

À Deus, por tudo que tem me concedido ao longo de minha vida. Tudo que tenho e que sou, devo a Ele.

Aos meus pais, João Luiz e Sandra, que me deram a oportunidade de estudar e sempre estiveram presentes me incentivando.

Às minhas irmãs, Carol e Laura, pelo amor e apoio.

Às minhas sobrinhas, Beatriz e Helena que são a alegria da minha vida.

Ao Christopher, pelo companheirismo e por trazer leveza aos meus dias.

A minha amiga irmã Patrícia, que sempre esteve presente em todos os momentos, bons ou ruins, sendo meu porto seguro.

À todos meus amigos, de forma especial a Kariny, Eliane e o Léo, por ter o prazer de tê-los ao meu lado.

À minha querida psicóloga, Rosélia, que tem auxiliado na minha evolução pessoal, por toda sua competência e docilidade.

Aos professores Pedrão e Fraga, por tudo que já fizeram e fazem por mim, à eles devo muito da profissional que tenho me tornado.

Ao meu querido orientador, Ednilton, que me acolheu com tanto carinho e dedicação, pelos ensinamentos e apoio sempre.

Aos meus colegas da pós-graduação, em especial a Kátia, Paula e Filipe, pelo companheirismo.

Aos colegas do G-Óleo, em especial a equipe de Química, por sempre me ajudarem.

À secretária, Helem e a laboratorista, Ana Paula, por todo auxílio e dedicação.

Ao CNPq, FAPEMIG, Finep, RBTB, Olea e MCTIC pelo incentivo a pesquisa.

E a todos que conviveram comigo nesses anos e contribuíram para minha formação, muito obrigada.

RESUMO

A *Moringa oleifera* Lam. é uma planta resistente a seca e capaz de sobreviver em solos pobres, obtendo até três colheitas por ano. Esta cultura possui ampla empregabilidade na indústria de cosméticos, medicinal, alimentícia e ainda como potencial de purificação de água, seus grãos possuem alto teor lipídico e proteico. Apesar da vasta utilização desta existem poucos estudos sobre seu processamento. Assim, os objetivos deste trabalho foram estudar o comportamento durante o processo de secagem, nas temperaturas de 40°C, 55°C, 70°C, aplicando modelos matemáticos para os dados experimentais, selecionando assim o melhor modelo de acordo com as curvas de cinética de secagem, avaliar o efeito deste fenômeno na eficiência da extração mecânica do óleo de moringa, e qualidade físico-química do óleo e da torta, para os métodos de extração de óleo, químico e mecânico. Foram utilizados grãos de *Moringa oleifera* Lam. pré-secos, provenientes da cidade de Barreirinhas (MA), da safra do segundo semestre de 2018. A secagem artificial foi feita até a massa constante dos grãos, por meio da utilização de um secador mecânico de laboratório em camada fixa com convecção forçada, na velocidade do ar de 0,33 m.s⁻¹, com temperaturas controladas do ar de secagem de 40°C, 55°C, e 70°C. Realizou-se análise de regressão não linear pelo método Quase-Newton para ajuste de 11 modelos matemáticos aos dados experimentais. A extração do óleo foi feita utilizando prensa mecânica, tipo expeller. O rendimento e a eficiência da prensa foram calculados a partir da diferença do teor lipídico obtido pela extração química inicial do grão e residual da torta. Os óleos extraídos foram avaliados qualitativamente quanto aos índices de acidez, peróxido e iodo, como também foi feita a composição química dos ácidos graxos por cromatografia gasosa, das amostras secas nas diferentes temperaturas do ar de secagem. As tortas provenientes das extrações mecânicas, foram avaliadas quanto ao teor de água, extrato etéreo, proteína bruta, cinzas e fibras em detergente neutro. A equação Exponencial de Dois Termos foi a que melhor ajustou os dados de cinética de secagem para todas temperaturas do ar de secagem, para os valores coletados. O aumento da temperatura do ar de secagem ocasionou maior contração volumétrica dos grãos de moringa, o que afetou o rendimento de extração de óleo, resultando em menor eficiência da prensa mecânica. As temperaturas do ar de secagem de 40°C, 55°C, 70°C afetaram significativamente a qualidade físico-química do óleo e da torta de moringa. Tendo como melhor resultado as amostras provenientes dos grãos secos à 40°C. A composição dos principais ácidos graxos não foi alterada de acordo com método estatístico aplicado. A extração química de óleo, apesar de mais eficiente que a mecânica, apresentou maiores índices de acidez e peróxido. O óleo e a torta de moringa, obtidos por prensagem mecânica, dos grãos secos à temperatura do ar de secagem de 40°C, tiveram melhor qualidade.

Palavras-chave: Secagem. Extração de óleo. Ácidos graxos. Modelagem matemática.

ABSTRACT

Moringa oleifera Lam. is a resistant plant that can survive in poor soils, yielding up to three harvests per year. This culture has wide employability in the cosmetics, medicinal, food industry and also as a potential for water purification, its grains have high lipid and protein content. Despite its wide use there are few studies on its processing. Thus, the objectives of this work were to study the behavior during the drying process, at temperatures of 40°C, 55°C and 70°C, applying mathematical models to the experimental data, thus selecting the best model according to the drying kinetics curves, to evaluate. The effect of this phenomenon on the efficiency of mechanical extraction of moringa oil, and the physicochemical quality of oil and cake for the chemical and mechanical oil extraction methods. Pre dried *Moringa oleifera* Lam. grains from the city of Barreirinhas (MA) from the second semestre of 2018 were used. Artificial drying was performed until the constant weight of the grains, using a mechanical drying machine fixed-layer laboratory with forced convection at an air velocity of 0.33m.s⁻¹ with controlled drying air temperatures of 40°C, 55°C and 70°C. Nonlinear regression analysis was performed by the Quase-Newton method to fit 11 mathematical models to the experimental data. The extraction of the oil was done by mechanical method, using expeller type press, and chemical with hexane organic solvent, with the soxhlet type equipment. The yield and efficiency of the press were calculated from the difference in lipid content obtained by the initial chemical extraction of the grain and iodine indices, as well as the chemical composition of the fatty acids by gas chromatography of the dried samples at the different drying air temperatures. The pies from mechanical extraction were evaluated for water content, ether extract, crude protein, ashes and neutral detergent fibers. The two-term exponential equation best characterized all drying temperatures for the collected values. The increase in drying air temperature caused greater volume shrinkage of the moringa grains, which affected the oil extraction yield, resulting in lower mechanical press efficiency. Drying air temperatures of 40°C, 55°C, 70°C significantly affected the physicochemical quality of the oil and moringa. Best results are samples from dried beans at 40°C. The composition of the main fatty acids was not altered according to the applied statistical method. Chemical extraction of oil, although more efficient than mechanical, showed higher levels of acidity and peroxide. The oil and moringa pies, reached by mechanical pressing of the dried grains at the drying temperature of 40°C, had better quality.

Keywords: Drying. Oil extraction. Fatty acids. Mathematical modeling.

LISTA DE FIGURAS

SEGUNDA PARTE

Figura 1 - Cinética de secagem dos grãos de moringa com valores de razão de umidade dos dados experimentais e simulados pelo modelo Exponencial de Dois Termos, na temperatura do ar de secagem de 40°C.	39
Figura 2 - Cinética de secagem dos grãos de moringa com valores de razão de umidade dos dados experimentais e simulados pelo modelo Exponencial de Dois Termos, na temperatura do ar de secagem de 55°C.	39
Figura 3 - Cinética de secagem dos grãos de moringa com valores de razão de umidade dos dados experimentais e simulados pelo modelo Exponencial de Dois Termos, na temperatura do ar de secagem de 70°C.	40

LISTA DE TABELAS

SEGUNDA PARTE

Tabela 1 - Modelos matemáticos aplicados nas curvas de secagem.	34
Tabela 2 - Parâmetros, erros médios relativos, estimado e qui-quadrado obtidos do modelo Exponencial de Dois Termos, ajustado aos dados de secagem dos grãos de moringa, para as diferentes temperaturas do ar de secagem.	37
Tabela 3 - Efeitos da secagem no rendimento de extração de óleo pelo método mecânico.....	40
Tabela 4 - Índices de qualidade do óleo de moringa por extração mecânica (E.M.) e química (E.Q), dos grãos secos em diferentes temperaturas do ar.....	48
Tabela 5 - Composição dos ácidos graxos presentes nos óleos de moringa.....	50
Tabela 6 - Análise bromatológica das tortas de moringa, antes e depois das secagens dos grãos.	51

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	12
1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Moringa oleifera Lam.	15
2.2	Processamento de produtos agrícolas	16
2.2.1	Secagem de grãos	16
2.2.2	Modelagem matemática e simulação da secagem	18
2.2.3	Equilíbrio higroscópico	20
2.2.4	Extração de óleo	20
2.2.5	Efeitos do processamento na qualidade do óleo e da torta	22
	REFERÊNCIAS	24
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	31
	ARTIGO 1 – EFICIÊNCIA DA EXTRAÇÃO MECÂNICA DO ÓLEO DE MORINGA OLEIFERA LAM. EM FUNÇÃO DE DIFERENTES CONDIÇÕES DE SECAGEM DOS GRÃOS	32
1	INTRODUÇÃO	32
2	MATERIAL E MÉTODOS	33
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42
	ARTIGO 2 - PROSPECÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO DE MORINGA OLEIFERA LAM. E QUALIDADE BROMATOLÓGICA DA TORTA, PROVENIENTES DE DIFERENTES TIPOS DE PROCESSAMENTO DOS GRÃOS	45
1	INTRODUÇÃO	45
2	MATERIAL E MÉTODOS	46
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS	52

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A Moringa oleífera Lam. é uma planta tropical cultivada inicialmente na Índia e introduzida no Brasil há quase 70 anos, resistente a seca e capaz de sobreviver em solos pobres, apresentando até três colheitas por ano. Os grãos possuem propriedades flocculantes e coagulantes, usados em muitos países como método natural, eficiente e econômico na purificação de água. Além dessa potencialidade, por seu alto valor proteico e qualidade do óleo, pode ser usada na alimentação, como também na indústria de cosméticos e, ainda, como matéria prima para combustíveis renováveis. Os grãos também são ricos em vitaminas A, B e C e minerais, cálcio, magnésio, potássio, sódio, fósforo e ferro.

Apesar da ampla empregabilidade da moringa e o crescimento de seu cultivo, presente em mais de treze estados do Brasil, poucos são os estudos sobre o processamento desses grãos e a manutenção da sua qualidade, que está diretamente relacionada a composição química destes. Dentre as etapas do processamento de moringa, a secagem e a extração de óleo são de maior influência nas propriedades dos produtos finais.

Em junho de 2019 a Anvisa proibiu a fabricação, a importação, a comercialização, a propaganda e a distribuição de todos os alimentos que continham Moringa oleífera. A medida foi motivada pelo fato de não haver avaliação e comprovação de segurança do uso da espécie em alimentos. Além disso, foi constatado que há inúmeros produtos denominados e/ou constituídos de Moringa oleífera que vêm sendo irregularmente comercializados e divulgados com diversas alegações terapêuticas não permitidas para alimentos, como por exemplo: cura de câncer, tratamento de diabetes e de doenças cardiovasculares, entre muitas outras. No final do mês de junho de 2019, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária abriu um edital com objetivo de recolher informações sobre a segurança do uso desta cultura em alimentos para liberação de comercialização da mesma (ANVISA, 2019).

A temperatura durante o processamento dos grãos de moringa é um dos principais fatores que podem causar a degradação de seus produtos. Para a secagem, altas temperaturas aceleram o processo, tornando menor o consumo de energia, sendo então mais econômico. No entanto, podem causar mudanças físicas e químicas nos grãos, e conseqüentemente a desvalorização do óleo e da torta.

A escolha da melhor metodologia de extração a ser empregada é de suma importância na obtenção dos produtos, tanto do ponto de vista do rendimento no processo como a qualidade do óleo extraído. Os dois métodos mais utilizados são a extração por solventes químicos e por

prensagem. O primeiro tem maior eficiência, enquanto o segundo é mais utilizado por ser mais simples, não exigir mão de obra qualificada, mais seguro e pode ser feito em um curto espaço de tempo. As propriedades físicas e químicas do óleo podem ser alteradas durante a extração, provocando danos aos ácidos graxos presentes e auto-oxidação, reduzindo conseqüentemente o tempo de armazenamento.

Neste contexto, o presente trabalho teve como finalidade estudar os efeitos da secagem de grãos de *Moringa oleífera* Lam. submetidos à diferentes temperaturas do ar de secagem, e métodos de extração, na quantidade e qualidade do óleo e da torta.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Moringa oleifera* Lam.

A *Moringa oleifera* Lam. é uma planta tropical originária da Índia, introduzida no Brasil na década de 50 como planta ornamental (MORTON, 1991; ALVES et al., 2005). Também conhecida como Acácia branca, a espécie tolera ampla faixa de pH do solo (5 a 9) e pode alcançar até 4 metros de altura em um ano e, quando adulta, obtêm uma produção anual de 3 a 5 toneladas de sementes por hectare. Cresce rapidamente, é capaz de sobreviver em solos pobres, sendo bastante resistente em longos períodos de seca (MORTON, 1991; RASHID et al., 2008). Seu estudo têm crescido em nosso país, em especial após a realização anual do Encontro Nacional de Moringa, que deu início em 2009. A publicação de trabalhos neste e em outros eventos, evidencia a distribuição desta cultura no Brasil, presente nos estados do Rio Grande do Norte, Piauí, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Paraná.

Esta é uma planta com diversas possibilidades de utilização, sendo que suas folhas e frutos têm valores nutricionais e medicinais (ANWAR et al., 2007). Na Ásia, as flores de moringa são misturadas a outros alimentos por serem fonte de cálcio, potássio e flavonóides, que são antioxidantes, e as folhas são usadas em várias partes do mundo por serem ricas em vitaminas A, B e C, cálcio, ferro, fósforo e proteína (RAMACHANDRAN et al., 1980). Anwar et al. (2007) identificaram na literatura, relatos das propriedades medicinais de várias partes da planta (folha, raiz, semente, casca, flor e fruto), tais como anti-inflamatória, antioxidante, hepatoprotetora e diurética. Chuang et al. (2007) recomendaram a utilização das folhas e sementes da espécie para tratar doenças dermatológicas, devido à atividade antifúngica.

Os grãos de moringa têm aproximadamente 40% de óleo, com percentual elevado de ácido oleico, em torno de 78% (ANWAR & BHANGER, 2003; RASHID et al., 2008; SANTANA et al., 2010). Além disto, o óleo apresenta excelente estabilidade oxidativa, com a presença de δ -tocoferol, auxiliando na preservação durante o processamento e armazenamento, e é utilizado industrialmente para lubrificar relógios, maquinarias delicadas, na fabricação de perfumes, biodiesel, como também tem sido estudado o seu efeito antioxidante quando adicionado a outros óleos (ANWAR & BHANGER, 2003; ANWAR et al. 2007; AMAGLO et al. 2010; ATAWODI et al. 2010; MBIKAY, 2012). Para Rashid et al. (2008), o biodiesel derivado da moringa é ótimo substituto para o diesel proveniente do petróleo, visto que este tem um dos maiores valores de cetano, comparado com o de outras matérias primas,

enquadrando nos padrões de qualidade internacionais. Segundo Gerpen (2006) o número de cetano é umas das propriedades mais importantes do diesel, já que altos valores desse composto promovem retardamentos da ignição. Rashid et al. (2008) obtiveram valores adequados de viscosidade, estabilidade oxidativa, lubrificidade e acidez para o biodiesel com óleo de moringa.

Dentre as formas de uso dos grãos de Moringa oleifera Lam., sua utilização se destaca como coagulante natural no tratamento de águas, tendo eficiência semelhante ao sulfato de alumínio, sendo uma tecnologia de baixo custo e favorecendo uma purificação mais aceitável do ponto de vista ambiental (NDABIGENGESERE & NARASIAH, 1998; LÉDO et al. 2010). Ghebremichael et al. (2005) corroboraram o efeito antimicrobiano da proteína coagulante de moringa, testada sobre *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Bacillus thuringiensis*. Pritchard et al (2010) afirmam que a redução de *E. coli* na água tratada com esta proteína, está relacionada à remoção de turbidez promovida pela coagulação. Silva & Matos (2008) verificaram que a remoção do conteúdo oleico das sementes pode contribuir para maior remoção de turbidez na água. Entretanto Ghebremichael et al. (2005) não observaram diferenças significativas na atividade coagulante antes e depois da extração do óleo de moringa, como também afirmaram a possibilidade de obtenção da proteína responsável pela função coagulante a partir da torta.

A farinha resultante da extração do óleo dos grãos de moringa pode ser tanto utilizada como coagulante na purificação de água, como na suplementação da alimentação de aves e produção de fertilizantes, por apresentar alto conteúdo de proteínas, que pode variar de 26,5 a 32%. Esta oleaginosa é um vegetal de múltiplas aplicações, favorecendo o uso sustentável da espécie, podendo gerar benefícios financeiros e sociais nos locais onde é cultivada (ANWAR & BHANGER, 2003; ANWAR et al., 2007; SÁNCHEZ-MACHADO et al., 2010).

2.2 Processamento de produtos agrícolas

2.2.1 Secagem de grãos

Os frutos de moringa geralmente são colhidos após atingirem a maturidade fisiológica, que é evidenciada pela coloração marrom escuro das vagens, com teor de água de aproximadamente 42% (bu), tendo então atividade metabólica elevada, favorecendo o processo de deterioração (AGUSTINI et al., 2015). Dessa forma, os grãos devem ser secados para maior durabilidade. A secagem é a etapa pós-colheita de maior relevância, tanto do ponto de vista de

consumo de energia e formação dos custos de processamento, como da manutenção da qualidade (BORÉM et al, 2008, CASTRO et al., 2016; MOSCON et al., 2017).

A preservação das propriedades físico-químicas dos grãos pela secagem baseia-se no fundamento de que com a redução da quantidade de água, pode ocorrer a diminuição da atividade de água, e conseqüentemente, da velocidade das reações químicas, bioquímicas e do desenvolvimento de microrganismos, contribuindo para um armazenamento seguro, como também facilita a extração de óleo de grãos ricos em lipídeos (CHRISTENSEN & KAUFMANN, 1974). Inúmeros trabalhos têm sido realizados com o objetivo de analisar a secagem de sementes de diversas oleaginosas como, por exemplo: pinhão manso (GOLDFARB et al., 2008; PRADHAN et al., 2009; SIRISOMBOON; KITCHAIYA, 2009); canola (CORRÊA et al., 1999); soja (MIRANDA et al., 1999; BARROZO et al., 2006); avelã (OZDEMIR; DEVRES, 1999); girassol (SACILIK et al., 2007); amendoim (CORRÊA et al., 2007) e mamona (GONELI, 2008).

A secagem pode ser definida como um processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem, que consiste na remoção do excesso de água contida no grão por meio de evaporação, geralmente causada por convecção forçada de ar aquecido (BROOKER et al., 1992). A utilização de grãos secos de moringa facilita a operação de moagem que é etapa realizada na extração do coagulante, aumenta o rendimento de extração de óleo e torna possível o armazenamento destes de forma segura para manutenção da qualidade (KATAYON et al., 2006; ARANTES, 2010).

Em determinados produtos, o processo de secagem, nas mesmas condições de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar de secagem, pode ser dividido em um período de velocidade constante e decrescente. O primeiro ocorre quando os grãos estão com teor de água elevado. Nesse período, a temperatura do produto se mantém igual à do ar de secagem saturado e as transferências de calor e massa se compensam. O mecanismo interno de fluxo de água não afeta a velocidade de secagem porque a taxa interna do seu deslocamento para a superfície do produto é igual ou maior do que a máxima taxa de remoção de vapor d'água pelo ar, sendo evaporada apenas a água retirada por capilaridade. Já no período de velocidade decrescente de secagem, a taxa interna de transporte de água é menor do que a evaporação superficial. Assim a transferência de calor do ar para o produto não é compensada e, conseqüentemente, a temperatura do produto aumenta, tendendo a atingir a temperatura do ar de secagem. Nesta fase ocorrem os maiores riscos de perda de qualidade por danos térmicos (BROOKER et al., 1992; BORÉM et al., 2013).

Temperaturas do ar mais altas podem acelerar o processo de secagem e torná-lo mais econômico (GIRANDA, 1998). Entretanto, diversas pesquisas têm demonstrado que temperaturas, na massa de diferentes produtos agrícolas, acima de 40°C podem causar prejuízos à qualidade (BORÉM et al., 2008; AQUINO et al., 2009; MARQUES, 2008). A secagem pode causar mudanças químicas e físicas nos grãos, estas últimas são principalmente devido a tensões desenvolvidas no tecido e são evidenciadas por macro e microalterações de tamanho, forma e estrutura interna. A extensão e a direção dessas mudanças dependem da metodologia, temperatura e tempo de secagem (AQUINO et al., 2009).

Alguns autores observaram que maiores rendimentos na extração de óleo de diferentes matérias-primas foram obtidos nas condições de maior tempo de secagem para quaisquer temperaturas, devido ao reduzido teor de água, o qual aumenta o poder de extração de solventes apolares (RAMOS, 1987; SILVA & TURATTI, 1991; GUARTE, MUHLBAUER & KELLERT, 1996; TANGO, CARVALHO & SOARES, 2004; AQUINO et al., 2009). Além disto, a secagem promove o rompimento da estrutura celular do tecido, liberando com maior facilidade os compostos intracelulares dos grãos (LEWICKI & PAWLAK, 2003).

Ullmann et al. (2010) avaliaram a qualidade de grãos de pinhão manso após secagens realizadas com cinco diferentes temperaturas do ar, sendo 30°C; 40°C; 50°C; 60°C e 70°C. Foi observado que com o aumento da temperatura ocorreu a diminuição do tempo de secagem, evidenciando a maior velocidade de retirada de água. Este fato também foi observado por Sirisomboon e Kitchaiya (2009) para o pinhão manso nas temperaturas de 40; 60 e 80 °C. Entretanto, Ullmann et al. (2010) verificaram o aumento da condutividade elétrica com a elevação da temperatura do ar de secagem, cujos lixiviados foram mais acentuados nas acima de 60 °C, evidenciando a remoção de água do interior das sementes de pinhão manso com maior agressividade, ocasionando microfissuras em nível celular. O valor da germinação para a temperatura de 70°C foi inferior as demais. Fujii (2007) também verificou que os danos causados nos grãos de canola em nível celular, pela secagem, pode provocar alterações fisiológicas e bioquímicas.

2.2.2 Modelagem matemática e simulação da secagem

Em virtude da importância do processo de secagem de grãos, essa etapa deve ser prevista, dimensionada e planejada com antecedência, a fim de reduzir os riscos e potencializar o rendimento. Diante disso, o emprego de algumas técnicas, como ajuste de modelos matemáticos auxilia no desenvolvimento e aperfeiçoamento de equipamentos utilizados na

secagem de produtos agrícolas, possibilitando estimar o tempo de secagem e avaliar o gasto energético que refletirá no custo do processamento (VILELA & ARTUR, 2008; RESENDE et al., 2010; SIQUEIRA et al., 2013).

Muitos modelos têm sido propostos para descrever a taxa de redução de água durante a secagem em camada fina de materiais biológicos, sendo fundamentais no desenvolvimento de modelos para simulação matemática da secagem de grãos (ERBAY & ICIER, 2010). Na simulação de secagem em camada espessa se faz necessária a obtenção da equação que descreve a taxa de secagem em cama fina, visto que a primeira é composta por uma série dessas camadas (KASHANINEJAD et al., 2007).

A análise da secagem de produtos higroscópicos se dá por métodos teóricos, semiempíricos e empíricos. Os métodos teóricos consideram condições externas do produto, como temperatura e umidade relativa do ar de secagem, e as internas, como o mecanismo de transferência de energia e massa, e seus afeitos. Os mais utilizados para simular a secagem de produtos agrícolas são os baseados na teoria da difusão líquida, em que a segunda lei de Fick tem sido utilizada por estabelecer a difusão de água em termos de gradiente de concentração (ERBAY & ICIER, 2010). O coeficiente de difusão é considerado constante ou linearmente dependente da temperatura, sendo uma relação que pode ser expressa pelo modelo de Arrhenius (FORTES & OKOS, 1980). Os métodos semiempíricos e empíricos de análise do processo de secagem, normalmente são baseados nas condições externas do produto e não fornecem informações sobre o fenômeno de transporte de energia e água no interior dos grãos, sendo baseados na lei de resfriamento de Newton aplicada à transferência de massa, considerando que durante a secagem as condições são isotérmicas e que a transferência de água se restringe à superfície do produto (ANDRADE & BORÉM, 2008). Estes modelos têm sido utilizados na maioria dos casos para representar o processo de secagem de grãos, devido à facilidade de seu uso, mesmo tendo a validade restrita às faixas de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em que os dados experimentais foram obtidos (BROOKER et al., 1992; MOHAPATRA & RAO, 2005).

Diversos modelos têm sido ajustados para descrever o processo de secagem de produtos capilares porosos higroscópicos. Dentre eles, estão os modelos de Midilli, Page, Thompson, de Verma, Henderson e Pabis, Hederson e Pabis modificado, de dois termos, exponencial de dois termos, Newton, Wang e Sing e de Valcam (MOHAPATRA & RAO, 2005; AKPINAR, 2006; KASHANINEJAD et al., 2007; GONELI et al., 2009; CORRÊA et al., 2010; RESENDE et al., 2010; SIQUEIRA et al., 2013).

2.2.3 Equilíbrio higroscópico

A secagem constitui uma operação fundamental entre as técnicas envolvidas na conservação das qualidades desejáveis de produtos de origem vegetal colhidos com alto teor de água. Os produtos agrícolas podem tanto ceder água para o ambiente quanto absorve-la, convergindo, constantemente, para uma relação de equilíbrio entre o seu teor de água e o ar ambiente (GONELI et al., 2014). Segundo (SOKHANSANJ & LANG, 1996), o teor de água de equilíbrio higroscópico, é o teor de água no qual a pressão de vapor d'água no produto é igual à do ar que o envolve.

Segundo (GONELI et al., 2014), a relação entre o teor de água de um determinado produto e a umidade relativa de equilíbrio em uma temperatura pode ser expressa por equações matemáticas, e são denominadas de isotermas de sorção ou curvas de equilíbrio higroscópico. A determinação das isotermas de sorção de água constitui fator essencial nos projetos e estudos de sistemas de secagem, manuseio, processamento, armazenagem, embalagem e predição da vida de prateleira de produtos alimentícios (COSTA et al., 2013). O comportamento das isotermas de sorção é ainda necessário para se conhecer bem a sua relação com as características físicas, químicas e de estabilidade dos produtos desidratados ou parcialmente desidratados (HUBINGER et al., 2009).

O comportamento higroscópico de diversos produtos agrícolas tem sido estudado por vários pesquisadores por meio de vários modelos matemáticos como Chung Pfof, Copace, GAB Modificado, Halsey Modificado, Henderson, Henderson Modificado, Oswin, Sabbab e Sigma Copace (BROOKER et al., 1992; FERREIRA et al., 2011; HUBINGER et al., 2009; COSTA et al., 2013; SILVA et al., 2012; TEIXEIRA et al., 2012). Entretanto, para o estabelecimento de isotermas que representam essa relação de equilíbrio são utilizados modelos matemáticos empíricos. Assim, para as operações de secagem e armazenagem de produtos agrícolas, torna-se necessário o conhecimento das relações entre a temperatura e a umidade relativa do ar e as condições desejáveis de conservação do produto, garantindo a manutenção de sua qualidade (GONELI et al., 2014).

2.2.4 Extração de óleo

A escolha do método de extração dos óleos vegetais deve ser feita visando dois principais aspectos, o rendimento no processo e a qualidade do produto extraído. Para isso

diferentes métodos podem ser utilizados, sendo os mais comuns a extração por prensagem mecânica e com solventes químicos (BRUM et al., 2009).

A prensagem mecânica é um método bastante utilizado nas indústrias para obtenção de óleo. Normalmente são prensas de alta pressão e bastante flexíveis para operar com diferentes tipos de oleaginosas. Entretanto, este processo tem a característica de deixar resíduo de óleo na torta, não sendo um processo totalmente eficiente na extração. Existe também o processo denominado misto, que se refere à combinação do sistema de prensagem com o sistema de extração por solvente. Esse processo pode ser utilizado em larga escala e também ser adaptado para vários tipos de oleaginosas (MREMA & MCNULTY, 1985).

As prensas do tipo expeller são amplamente utilizadas e apresentam uma série de vantagens perante o tradicional método de extração por solvente. A operação em uma prensa mecânica é simples, não exigindo mão de obra qualificada para seu manuseio; é um sistema facilmente adaptável a diversos tipos de oleaginosas, bastando para isso alguns ajustes mecânicos simples, e todo o processo de expulsão do óleo é contínuo e feito em um curto espaço de tempo. Este tipo de extração é bastante segura, podendo ser realizada em pequenas propriedades rurais além de permitir o uso do subproduto da extração mecânica, a torta, que é rica em proteína, na alimentação humana, ração animal, adubo, entre outros (MREMA & MCNULTY, 1985; ANWAR et al., 2007; PRITCHARD et al., 2010).

O método de extração de Soxhlet com solvente orgânico tem se mostrado o mais eficiente frente as outras tecnologias por obter maior rendimento, visto que a amostra permanece em contato com o solvente pela evaporação e condensação do mesmo, até a total extração do óleo. Entretanto a temperatura e o tempo de processamento podem afetar a qualidade do produto. O solvente orgânico hexano é um hidrocarboneto alcano, inerte em reações orgânicas, com ponto de ebulição de 69°C, sendo o mais usado em extrações químicas de óleo (BRUM et al., 2009).

Algumas amostras requerem cuidados especiais para a obtenção da fração lipídica, pois fatores como coextração de outros componentes e a oxidação indesejada do óleo podem influenciar na qualidade final do produto. A temperatura deste processamento é um fator preponderante na qualidade do óleo, caso seja elevada, pode favorecer reações de peroxidação (KATES, 1972). Segundo Pereira (2009) diferentes métodos de extração e tipos de solventes, podem influenciar na composição química do óleo, mesmo que seja do mesmo lote de grãos. No trabalho citado foram identificadas proporções divergentes entre os ácidos graxos obtidos de uma mesma oleaginosa, extraídos com diferentes solventes.

2.2.5 Efeitos do processamento na qualidade do óleo e da torta

As propriedades físicas e químicas de um óleo estão relacionadas principalmente com a sua composição em ácidos graxos, posição destes na molécula de glicerol, grau de insaturação e com o comprimento da cadeia carbônica dos mesmos. A diferença entre uma gordura e um óleo está no estado físico em temperatura ambiente, isto é, uma gordura é um sólido e um óleo é um líquido geralmente, as gorduras sólidas são indicadas por um maior índice de ácidos graxos saturados, e os líquidos por um alto nível de ácidos graxos insaturados (O'BRIEN, 2000).

Os processos de oxidação em alimentos são responsáveis pela redução da vida de prateleira das matérias primas e dos produtos industrializados acarretando a perda econômica. A rancidez ocorre principalmente durante o processamento do produto, podendo resultar em alterações dos principais parâmetros de qualidade como a cor, índice de acidez, produção de compostos voláteis responsáveis pela formação de sabores e odores desagradáveis, e consequentemente, reduzindo o tempo de armazenamento. As principais alterações químicas que ocorrem nos óleos vegetais são por processos químicos como a auto-oxidação, a polimerização térmica ou a oxidação térmica, que podem ser acelerados pelo calor, luz (foto-oxidação), ionização, traços de metais ou catalisadores (MALLÉGOL, 2000; DEGÁSPARI & WASZCZYNSKYJ, 2004; NOGALA-KALUCKA et al., 2005).

Os fenômenos de oxidação dos lipídios dependem de diversos mecanismos de reação extremamente complexos, os quais estão relacionados com o tipo de ácidos graxos presentes e o meio onde estes se encontram. O número e a natureza das insaturações, o tipo de interface entre os lipídios e o oxigênio, a exposição à luz e ao calor, a presença de pró-oxidantes (ex. íons metálicos de transição) ou de antioxidantes, são fatores determinantes para a estabilidade oxidativa dos lipídios (FRANKEL et al., 1994; SILVA et al., 1999).

Os grãos de Moringa oleífera além de serem boa fonte de gorduras, possui elevado teor de proteína, podendo variar de 29,40 à 37,60% (NZIKOU et al., 2009; BRIDGEMOHAN&KNIGHTS, 2010; VERMA & NIGAM, 2014). Assim a secagem e a extração de óleo devem ser realizadas com temperatura e tempo adequados para evitar a desnaturação excessiva das proteínas (NRC, 1994). Estas, em sua maioria, são desnaturadas quando expostas a moderado aquecimento, em torno de 60 a 90°C, por em média 1h (ARAÚJO et al., 1995; CARVALHO et al., 2009). A desnaturação excessiva da proteína frequentemente resulta na sua insolubilização se consumida, já que afeta suas propriedades funcionais e aumenta sua viscosidade. Do ponto de vista nutricional, a desnaturação parcial melhora a

digestibilidade e a disponibilidade biológica de aminoácidos essenciais, já o superaquecimento pode prejudicar a disponibilidade de nutrientes, como os aminoácidos (ARAÚJO, 1995; CARVALHO et al., 2009).

REFERÊNCIAS

- ABDEL-LATEEF E, MAHMOUD F, HAMMAM O, EL-AHWANY E, EL-WAKIL E, KANDIL S, TALEB HÁ, EL-SAYED M, HASSENEIM H. **Bioactive chemical constituents of *Curcuma longa* L. rhizomes extract inhibit the growth of human hepatoma cell line (HepG2).** Acta Pharm, v.66, p. 387-398, 2016.
- ANDRADE, E T.; BORÉM, F. M. **Modelagem matemática e simulação aplicados na secagem do café.** In: BORÉM, F. M. (Ed). Pós-colheita do café. Lavras UFLA, p. 301-347, 2008.
- ANDRADE, E. T. et al. **Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão.** Engevista, São Paulo, v.8, n.2, p. 83-95, 2006.
- AGUSTINI, M. A. B.; WENDT, L.; PAULUS, C.; MALAVASI, M. M.; GUSATTO, F. C. **Maturidade fisiológica de sementes de *Moringa oleifera* Lam.** Revista Inova Ciência & Tecnologia, v.8, p. 267-278, 2015.
- AKPINAR, E. K. **Mathematical modelling of thin layer drying process under open sun of some aromatic plants.** Journal of Food Engineering, v.77, n.4, p. 864-870, 2006.
- ALVES, M. C. S.; MEDEIROS FILHO, S.; BEZERRA, A. M. E.; OLIVEIRA, V. C. **Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de *Moringa oleifera* L. em diferentes locais de germinação e submetidas à pré-embebição.** Ciênc. Agrotec. Lavras, v 29, n. 5, p. 1083-1087, 2005.
- AMAGLO, N.K., BENNETT, R.N., LO CURTO, R.B., ROSA, E.A.S., LO TURCO, V., GIUFFRIDA, A., LO CURTO, A., CREA, F.; TIMPO, G.M. **Profiling selected phytochemicals and nutrients in different tissues of the multipurpose tree *Moringa oleifera* L., grown in Ghana.** Food Chem. v.122, p. 1047–1054, 2010.
- ANWAR, F. BHANGER M.I. **Analytical characterization of *Moringa oleifera* seed oil grown in temperate regions of Pakistan.** J. Agric. Food Chem., v.51, p. 6558-6563, 2003.
- ANWAR, F., LATIF, S., ASHRAF, M. and GILANI, A.H. ***Moringa oleifera*: A food plant with multiple medicinal uses.** Phytother. Res. 21, p. 17-25, 2007.
- AQUINO, L. P., FERRUA, F. Q., BORGES, S. V., ANTONIASSI, R., CORREA, J. L. G., CIRILLO, M. A. **Influência da secagem do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) na qualidade do óleo extraído.** Ciênc. Tecnol. Aliment. Campinas, v.29, n.2, p. 354-357, 2009.
- ARANGO, H. G. **Bioestatística – Teórica e Computacional.** Editora Guanabara Koogan, 2ª ed, Rio de Janeiro/RJ, 2005.
- ARAÚJO, E. F. et al. **Qualidade fisiológica de sementes de milho-doce submetidas à debulha, com diferentes graus de umidade.** Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v. 01, n. 02, p. 101-110, 2002.
- ATAWODI, J.C., IDAKWO, G.A., PFUNDSTEIN, B., HAUBNER, R., WURTELE, G., BARTSCH, H. and OWEN, R.W. **Evaluation of the polyphenol content and antioxidant properties of methanol extracts of the leaves, stem, root barks of *Moringa oleifera* Lam.** J. Med. Food, v. 13, p. 710–716, 2010.

ARANTES, C. C. **Utilização de coagulantes naturais à base de sementes de Moringa oleífera e tanino como auxiliares da filtração em mantas não tecidas.** Campinas: UNICAMP. p.109, 2010.

BARROZO, M. A. S. et al. **The use of the orthogonal collocation method on the study of the drying kinetics of soybean seeds.** Journal of Stored Products Research, v. 42, n. 03, p. 348-356, 2006.

BORÉM, F. M.; MARQUES, E. R.; ALVES, E. **Ultrastructural analysis damage in parchment Arabica coffee endosperm cells.** Biosystems Engineering, London, v. 99, n., p. 62-66, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes.** Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992.

BRIDGEMOHAN, P.; KNIGHTS, M. **Nutrient analysis of Moringa oleífera as high protein supplement for animals.** Advances in Animal Biosciences 1(2):428-429, 2010.

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

BRUM, A. A. S.; ARRUDA, L. F.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B. **Métodos de extração e qualidade da fração lipídica de matérias-primas de origem vegetal e animal.** Química Nova, v. 32, n. 4, p. 849-854, 2009.

CARVALHO, G. G. P. DE; PIRES, A. J. V.; GARCIA, R.; VELOSO, C. M.; SILVA, R. R.; MENDES, F. B. L.; PINHEIRO, A. A.; SOUZA, D. R. **In situ degradability of dry matter, crude protein and fibrous fraction of concentrate and agroindustrial by-products.** Ciência Anim. Bras., 10 (3): 689-697, 2009.

CASTRO, D. S.; NUNES, J. S.; SILVA, L. M. M.; SOUSA, F. C.; SILVA, W. P.; GOMES, J. P. **Secagem de polpa de Annona squamosa L.: cinética e avaliação de modelos empíricos.** Magistra, Cruz das Almas – BA, v. 28, n. 3/4, p. 294-300, 2016.

CHOE, E.; MIN, D. B. **Mechanisms and factors for edible oil oxidation.** Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety, Ohio, v. 5, p.169-186, 2006.

CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. H. **Microflora.** Storage of cereal grain and their products. Saint Paul: AACC, p. 158-192, 1974.

CHUANG, P.; LEE, C; CHOU, J.; MURUGAN, M.; SHIEH, B.; CHEN, H. **Anti-fungal activity of crude extracts and essential oil of Moringa oleífera Lam.** Bioresource Technology, n. 98, p. 232-236, 2007.

CORRÊA, P. C.; MARTINS, A. J. H.; CHRIST, D. **Thin layer drying rate and loss of viability modelling for rapeseed (canola).** Journal of Agricultural Engineering Research, v. 74, n. 01, p. 33-39, 1999.

CORRÊA, P. C. et al. O. **Sorption isotherms and isosteric heat of peanut pods, kernels and hulls.** Food Science Technology International, v. 13, n. 03, p. 230-237, 2007.

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

CORRÊA, P. C. et al. **Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem.** Revista Ceres, v. 57, n. 5, p. 595-601, 2010.

DEGÁSPARI, C.H.; WASZCZYNSKYJ, N. **Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos.** Visão Acadêmica, v.1, n.5, p. 33-40, 2004.

ERBAY, Z., & ICIER, F. **A review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results.** Critical reviews in food science and nutrition, v. 50, n.5, p. 441-464, 2010.

FERREIRA, S. C. D. S.; SILVA, H. W. D.; RODOVALHO, R. S. **Isoterma de desorção e calor latente de vaporização da semente de pimenta Cumari Amarela (*Capsicum chinense* L.).** Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 12, p. 107-206, Julho/Dezembro 2011.

FORTES, M., & OKOS, M. R. **Changes in physical properties of corn during drying.** Transactions of the ASAE, v. 23, n.4, p. 1004-1008, 1980.

FRANKEL, E.N.; HUANG, S. W.; KANNER, J.; GERMAN, J. B. **Interfacial Phenomena in the Evaluation of Antioxidants: Bulk Oils vs Emulsionst.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 42, p. 1054 -1059, 1994.

FUJII, K. **Simulação de secagem de sementes de canola (*brassica napus*) com previsão de germinação.** 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, 2007.

GUARTE, R. C.; MUHLBAUER, W.; KELLERT, M. **Drying characteristics of copra and quality of copra and coconut oil.** Postharvest Biology and Technology, v. 9, n. 3, p. 361-372, 1996.

GERPEN, J. V. **Conceitos básicos sobre motores diesel e seus combustíveis.** Manual de Biodiesel. Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2006.

GHEBREMICHAEL, K. A ; GUNARATNA, K.R; HENRIKSSON, H.; BRUMER, H.; DALHAMMAR, G. **A simple purification and activity assay of the coagulant protein from Moringa oleifera seed.** Water Research, n.39, p. 2338-2344, 2005.

GIRANDA, R. do N. **Aspectos qualitativos de cafés submetidos a diferentes processos de secagem.** Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, 1998.

GOLDFARB, M. et al. **Teor de água limite para crioconservação das sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.).** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v. 10, n. 02, p. 121-129, 2008.

GONELI, A. L. D. et al. **Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada.** Revista Brasileira de Armazenamento, n. 11, p. 64-73, 2009. Volume especial café.

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

GONELI, A.L.D.; NASU, A.K.; GANCEDO, R.; ARAÚJO, W.D.; SARATH, K.L.L. **Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenacea* DC.)**. Revista brasileira de plantas medicinais, Botucatu, 2014, vol.16, n.2, suppl.1, pp. 434-443.

GREENSPAN, L. **Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions**. Journal of Research of National Bureau of Standards. A. Physics and Chemistry. v. 81a, n.1, 1977.

HUBINGER, M. D. et al. **Isotermas de dessecção de filé de bonito (*Sarda sarda*) desidratado osmoticamente e defumado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, p. 305-311, 2009.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Óleos e gorduras**. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Coordenadores. Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea. Instituto Adolfo Lutz/SP, capítulo 6, p. 1020, 2008.

ISQUIERDO, E. P. **Secagem e qualidade do café cereja desmucilado submetido a diferentes períodos de repouso**. p. 98. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Lavras, 2008.

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.

KATAYON, S. et al. **Effects of storage conditions of *Moringa oleífera* seeds on its performance in coagulation**. Bioresource Technology, v. 97, p. 1455-1460, 2006

KATES, M.; **Techniques of lipidology: isolation, analysis and identification of lipids**, Elsevier Applied Science: London, 1972.

KRYZANOWSKI, F. C.; WEST, S. H.; FRANÇA NETO, J. B. **Drying soybean seed using air ambient temperature at low relative humidity**. Revista Brasileira de Sementes, Brasília, v. 28, n. 2, p. 77-83, 2006.

LÉDO, P. G. S.; LIMA, R. F. S.; PAULO, J. B. A. **Efficiency of aluminium sulfate and *Moringa oleífera* seeds as coagulants for the clarification of water**. Land Contamination & Reclamation, v.18, n.1, 2010.

LEWICKI, P. P.; PAWLAK, G. **Effect of drying on microstructure of plant tissue**. Drying Technology, v. 21, n. 4, p. 657-683, 2003.

MALLÉGOL, J.; LEMAIRE, J.; GARDETTE, J. L. **Drier Influence in the curing of linseed oil**. Progress in Organic Coatings, London, v.2, n. 39, p. 107-113, 2000.

MARQUES, E. R. et al. **Eficácia do teste de acidez graxa na avaliação da qualidade do café arábica (*Coffea arábica* L.) submetido a diferentes períodos e temperaturas de secagem**. Ciência Agrotecnologia, Lavras v. 32, n.5, p.1557-1562, 2008.

MBIKAY, M. **Therapeutic potential of *Moringa oleífera* leaves in chronic hyperglycemia and dyslipidemia: A review**. Front. Pharmacol. v. 24, p. 1-12, 2012.

MIRANDA, L. C.; SILVA, W. R.; CAVARIANI, C. **Secagem de sementes de soja em silo com distribuição radial do fluxo de ar**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 34, n. 11, p. 2097-2108, 1999.

- MREMA, G. C., MCNULTY, P. B. **Mathematical model of mechanical oil expression from oilseeds.** Journal of Agricultural Engineering Research, v. 31, p. 361-370, 1985.
- MOHAPATRA, D., & RAO, P. S. **A thin layer drying model of parboiled wheat.** Journal of food engineering, v.4, n. 66, p. 513-518, 2005.
- MORAIS, M. M. et al. **Estudo do processo de refino do óleo de pescado.** Revista Instituto Adolfo Lutz, São Paulo, v. 60, n. 1, p. 23-33, 2001.
- MORTON, J. F. **The horsedish tree.** Moringa pterygosperma (moringaceae): a boom to arid lands. Economic Botany, Ypsilanti, v. 45, n. 3, p.318-333, 1991.
- MOSCON, E. S.; MARTIN, S.; SPEHAR, C. R; DEVILLA, I. A.; RODOLFO, F. J. **Cinética de secagem de grãos de quinoa (Chenopodium quinoa W.).** Revista Engenharia na Agricultura, v. 25, n. 4, p. 318-325, 2017.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of poultry.** 9.ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 1994. 155p
- NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S. **Quality water treated by coagulation using Moringa oleífera seeds.** Wat. Res., v.32, n.3, 1998.
- NOGALA-KALUCKA, M., KORCZAK, J., DRATWIA, M., LAMPSTRZCZAPA, E., SIGER, A. e BUCHOWSKI, M. **Changes in antioxidant activity and free radical scavenging potential of rosemary extract and tocopherols in isolated rapeseed oil triacylglycerols during accelerated tests.** Food Chemistry, v.93, p. 227-235, 2005.
- NZIKOU, M.L., MATOS, G., BOUANGA-KALOU, C.B., NDANGUI, N.P.G., PAMBOU T.A., KIMBONGUILA, M.L., S. DESOBRY. **Chemical Composition on the Seeds and Oil of Sesame (Sesamum indicum L.) grown in Congo-Brazzaville.** Advance Journal of Food Science and Technology 1(1): 6-11, 2009.
- O'BRIEN, R.D., FARR, W.C., WAN, P.J. **Introduction to fats and oils technology.** ed. Champaign: AOCS Press, 2000.
- OZDEMIR, M.; DEVRES, Y. O. **The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting.** Journal of Food Engineering, v. 42, n. 04, p. 225-233, 1999.
- PEREIRA, C. S. S. **Avaliação de diferentes tecnologias na extração do óleo do pinhão-manso (Jatropha curcas L).** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009.
- PRADHAN, R. C. et al. **Moisture-dependent physical properties of jatropha fruit.** Industrial Crops and Products, v. 29, n. 02/03, p. 341-347, 2009.
- PRITCHARD, M.; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSON, A. S.; O'NEILL, J. G. **A comparison between Moringa oleífera and chemical coagulants in the purification of drinking water:** An alternative sustainable solution for developing countries. Physics and Chemistry of the Earth, n. 35, p.798-805, 2010.
- RAMACHANDRAN, C.; PETER, K. V.; GOPALAKRISHNAN, P. K. **Drumstick (Moringa oleifera) a multipurpose Indian vegetable.** Economy Botany, [S.l.], v. 34, p. 276-283, 1980.

- RAMOS, M. I. L. **Desidratação do piqui (Caryocar brasiliense, Camb.):** avaliação do processo através dos teores de carotenóides totais. 1987.120 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.
- RASHID, U.; ANWAR, F.; MOSER, B. R.; KNOTHE, G. **Moringa oleífera oil: a possible source of biodiesel.** Bioresource Technology, n. 99, p. 8175-8179, 2008.
- RESENDE, O., FERREIRA, L. U., & ALMEIDA, D. P. **Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão Adzuki (Vigna angularis).** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v. 12, n.2, p. 171-178, 2010.
- SACILIK, K.; TARIMCI, C.; COLAK A. **Moisture content and bulk density dependence of dielectric properties of safflower seed in the radio frequency range.** Journal of Food Engineering, v. 78, n. 04, p. 1111-1116, 2007.
- SÁNCHEZ-MACHADO, D. I.; NÚÑEZ-GASTÉLUM, J. A.; REYES-MORENO, C.; RAMÍREZ-WONG, B.; LÓPEZ-CERVANTES, J. **Nutritional Quality of Edible Parts of Moringa oleífera.** Food Anal. Methods, n.3, p.175-180, 2010.
- SANTANA, C. R.; PEREIRA, D. F.; ARAÚJO, N. A.; CAVALCANTI, B.; SILVA, G. F. **Caracterização físico-química da moringa.** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.12, n.1, p.55-60, 2010.
- SILVA, M. T. C.; TURATTI, J. M. **Extração de óleo de soja com etanol.** Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos, v. 21, n. 1,p. 73-89, 1991.
- SILVA, F. A. M.; BORGES, M. F. M.; FERREIRA, M. A. **Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante.** Química Nova, Porto, v. 1, n. 22, p.94-103, 1999.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos).** Viçosa, UFV. Imprensa Universitária, 3 ed., p. 235, 2002.
- SILVA, F. J. A.; MATOS, J. E. X. **Sobre dispersões de Moringa oleífera para tratamento de água.** Ver. Tecnol. Fortaleza, v. 29, n.2, p. 157-163, 2008.
- SILVA, H. W.; RODOVALHO, R. S. **Isotermas de dessecção das sementes de pimenta malagueta.** Global Science and Technology, Rio Verde, v. 5, n. 1, p. 33, Janeiro/Abril 2012.
- SIQUEIRA, V. C., RESENDE, O., & CHAVES, T. H. **Mathematical modelling of the drying of jatropha fruit: an empirical comparison.** Revista Ciência Agronômica, v. 44, n.2, p. 278-285, 2013.
- SIRISOMBOON, P.; KITCHAIYA, P. **Physical properties of Jatropha curcas L. kernels after heat treatments.** Biosystems Engineering, v. 102, n. 02, p. 244-250, 2009.
- SOKHANSANJ, S.; LANG, W. **Prediction of kernel and bulk volume of wheat and canola during adsorption and desorption.** Journal Agricultural Engineering, p. 129-136, 1996.
- TANGO, J. S.; CARVALHO, C. R. L.; SOARES, N. B. **Caracterização física e química de frutos de abacate visando a seu potencial para extração de óleo.** Revista Brasileira de Fruticultura, v. 26, n. 1,p. 17-23, 2004.

TEIXEIRA, L. P.; ANDRADE, E. T.; SILVA, P. G. L. **Determinação do equilíbrio higroscópico e do calor isostérico da polpa e da casca do abacaxi (*Ananas comosus*).** *Engevista*, Niterói, v. 14, p. 172-184, Agosto 2012.

ULLMANN, R.; RESENDE, O.; SALES, J. F.; CHAVES, T. H. **Qualidade das sementes de pinhão manso submetidas à secagem em diferentes condições de ar.** *Revista Ciência Agronômica*, v.41, p. 442-447, 2010.

VERMA KARUNA S, NIGAM RAJNI. **Nutritional Assessment of Different parts of *Moringa oleifera* Lam collected from Central India.** *J Nat. Prod. Plant Resour.* 2014; 4(1):81-86.

VIEIRA, R. D., PENARIOL, A. L., PERECIN, D., & PANOBIANCO, M. **Condutividade elétrica e teor de água inicial das sementes de soja.** *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.37, n.9, p. 1333-1338, 2002.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. **Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos.** *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 28, p. 387-394, 2008.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1 - EFICIÊNCIA DA EXTRAÇÃO MECÂNICA DO ÓLEO DE MORINGA OLEIFERA LAM. EM FUNÇÃO DE DIFERENTES CONDIÇÕES DE SECAGEM DOS GRÃOS.

RESUMO

A Moringa oleifera Lam. é uma planta resistente a seca e capaz de sobreviver em solos pobres, obtendo até três colheitas por ano. Esta cultura possui ampla empregabilidade na indústria de cosméticos, medicinal, alimentícia e ainda como potencial de purificação de água. Apesar da vasta utilização desta existem poucos estudos sobre seu processamento. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento durante o processo de secagem, nas temperaturas de 40°C, 55°C, 70°C, aplicando modelos matemáticos para os dados experimentais, selecionando assim o melhor modelo de acordo com as curvas da cinética de secagem, como também avaliando o efeito deste fenômeno na eficiência da extração mecânica do óleo de moringa. Foram utilizados grãos de Moringa oleifera Lam. pré-secos, provenientes da cidade de Barreirinhas (MA), da safra do segundo semestre de 2018 e o experimento conduzido no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras (MG). A secagem artificial foi feita até a massa constante dos grãos, por meio da utilização de um secador mecânico de laboratório em camada fixa com convecção forçada, na velocidade do ar de 0,33 m.s⁻¹, com temperaturas controladas do ar de secagem de 40°C, 55°C, e 70°C. Realizou-se análise de regressão não linear pelo método Quase-Newton para ajuste de 11 modelos matemáticos aos dados experimentais. A extração do óleo foi feita utilizando prensa mecânica, tipo expeller. O rendimento e a eficiência da prensa foram calculados a partir da diferença do teor lipídico obtido pela extração química inicial do grão e residual da torta. A equação Exponencial de Dois Termos foi o que melhor caracterizou todas as temperaturas de secagem, para os valores coletados. O aumento da temperatura do ar de secagem ocasionou maior contração volumétrica dos grãos de moringa, o que afetou o rendimento de extração de óleo, resultando em menor eficiência da prensa mecânica.

Palavras-chave: Processamento, produtos agrícolas, extração de óleo

1 INTRODUÇÃO

A Moringa oleifera Lam. é uma planta tropical cultivada inicialmente na Índia e introduzida no Brasil há quase 70 anos, resistente a seca e capaz de sobreviver em solos pobres, obtendo até três colheitas por ano (ALVES et al., 2005; RASHID et al., 2008). Os grãos têm aproximadamente 40% de óleo, com percentual elevado de ácido oleico, em torno de 78% (ANWAR & BHANGER, 2003; RASHID et al., 2008; SANTANA et al., 2010). Além disso, o óleo apresenta excelente estabilidade oxidativa, com a presença de δ -tocoferol, auxiliando na preservação durante o processamento e armazenamento, e é utilizado industrialmente para lubrificar relógios, maquinarias delicadas, na fabricação de perfumes, biodiesel, como também tem sido estudado o seu efeito antioxidante quando adicionado a outros óleos (ANWAR &

BHANGER, 2003; ANWAR et al., 2007; AMAGLO et al., 2010; ATAWODI et al., 2010; MBIKAY, 2012).

A temperatura durante o processamento dos grãos de moringa é um dos principais fatores que podem causar a degradação ou baixo rendimento de seus produtos. Para a secagem, altas temperaturas aceleram o processo, tornando menor o consumo de energia, sendo então mais econômico. No entanto, podem causar mudanças físicas e químicas nestes, como também afetar a eficiência na extração de óleo (ALMEIDA et al., 2013). Características do processo de secagem, tais como, particularidades do material, umidade relativa, temperatura e velocidade do ar são representadas pela cinética de secagem, utilizando-se para isso a modelagem estatística.

A simulação matemática do processo de secagem é fundamental para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de equipamentos utilizados para a secagem de grãos. Tais informações são de grande importância para simulações matemáticas de secagem em camadas delgadas, as quais demonstram o comportamento da redução do teor de água durante o processo, permitindo a promoção de melhorias no sistema e o desenvolvimento de novos equipamentos (ARAÚJO et al., 2017; GONELI et al., 2014).

Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento durante o processo de secagem dos grãos de Moringa oleífera, nas temperaturas de 40°C, 55°C, 70°C, aplicando modelos matemáticos para os dados experimentais, selecionando assim o melhor modelo de acordo com as curvas da cinética de secagem, como também avaliando o efeito deste fenômeno na eficiência da extração mecânica do óleo de moringa, devido à escassez de pesquisas relacionadas ao processamento destes grãos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Foram utilizados grãos de Moringa oleífera Lam. pré-secos, provenientes da cidade de Barreirinhas (MA), da safra do segundo semestre de 2018. A secagem foi feita no Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas e as extrações de óleo e análises no Laboratório de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gordura e Biodiesel, ambos no Departamento de Engenharia Agrícola desta instituição.

Os grãos foram colhidos logo após atingirem o ponto de maturidade fisiológica, que é identificado pela coloração marrom escura das vagens (AGUSTINI et al., 2015), das quais foram retirados manualmente e, posteriormente, passaram pela pré-limpeza.

A secagem artificial foi feita até a massa constante dos grãos, por meio da utilização de um secador mecânico de laboratório em camada fixa com convecção forçada, na velocidade do ar de 0,33 m.s⁻¹, com temperaturas controladas do ar de secagem de 40°C, 55°C, e 70°C. O teor de água das amostras, foi feito antes e depois da secagem, de acordo com as recomendações das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992), onde utilizou-se o método de estufa à 105 ± 3 °C, durante 24 horas. O experimento foi composto por triplicatas, cada qual com massa de ± 1,7 kg, secas nas diferentes temperaturas. Durante o processo, as amostras foram pesadas inicialmente em intervalos menores, de 30 em 30 min (durante as primeiras 3 h) e posteriormente em intervalos mais espaçados (1 h), até atingirem o equilíbrio higroscópico, momento em que a massa tornou-se constante. Para o monitoramento das temperaturas do ar de secagem utilizou-se a central de dados através de cabos termopares tipo J na bandeja do secador e na parte externa Dataloggers, modelo LG820-UM-851, obtendo a umidade relativa do ar ambiente.

O ajuste dos dados experimentais de secagem aos modelos matemáticos foi realizado por meio de análise de regressão não linear, pelo método Quase-Newton, no programa computacional Statistica 5.0®, os quais foram: Dois termos, Exponencial de dois termos, Henderson e Pabis modificado, Henderson e Pabis, Midilli, Newton, Page, Thompson, Verma, Wang e Sing, Valcam e Aproximação da difusão, os quais são os mais utilizados e disponíveis na literatura científica (Tabela 1).

Tabela 1 - Modelos matemáticos aplicados nas curvas de secagem.

Modelo	Designação do modelo	Equação
Aproximação da Difusão ¹	$RU = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	(1)
Dois termos ²	$RU = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	(2)
Exponencial de dois termos ³	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \exp(-k \cdot a \cdot t)$	(3)
Henderson & Pabis modificado ⁴	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + c \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	(4)
Henderson & Pabis ⁵	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	(5)
Midilli ⁶	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	(6)
Newton ⁷	$RU = \exp(-k \cdot t)$	(7)
Page ⁸	$RU = \exp(-k \cdot t^n)$	(8)
Thompson ⁹	$RU = \exp\{-[a - (a^2 + 4 \cdot b \cdot t)^{0.5}] \cdot (2 \cdot b)^{-1}\}$	(9)
Verma ¹⁰	$RU = -a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a) \exp(-k_1 \cdot t)$	(10)
Wang & Sing ¹¹	$RU = 1 + a \cdot t + b \cdot t^2$	(11)
Valcam ¹²	$RU = a + b \cdot t + c \cdot t^{1.5} + d \cdot t^2$	(12)

²(Henderson, 1974); ³(Sharaf-Eldee; Blaisdell; Hamdy, 1980); ⁴(Karathanos, 1999); ⁵(Henderson; Pabis, 1961); ⁶(Midilli; Kucuk; Yapar, 2002); ⁷(Lewis, 1921); ⁸(Page, 1949); ⁹(Thompson; Peartt; Foster, 1968); ¹⁰(Verma et al., 1985); ¹¹(Wang; Sing, 1978); ¹²(Siqueira; Resende; Chaves, 2013).

Em que,

RU: Razão de teor de água;

T: tempo de secagem (h);

K, ko e k1: constantes de secagem;

a, b, c, d, n: coeficientes dos modelos.

Os cálculos dos teores de água foram calculados por meio da expressão descrita abaixo:

$$U_t = \frac{M_{ai} - (M_{ti} - M_{tt})}{M_{ms}} \quad (13)$$

Em que,

Ut: Teor de água no tempo t (kg de água.kg de matéria seca-1 (bs));

Mai: Massa de água inicial (kg);

Mti: Massa total inicial (kg);

Mtt: Massa total no tempo t (kg);

Mms: Massa de matéria seca (kg).

Para determinação das razões de teores de água dos grãos de moringa durante a secagem, utilizou-se a expressão seguinte:

$$R = \frac{U - Ue}{Ui - Ue} \quad (14)$$

em que:

RU: razão de teor de água do produto (adimensional);

U: teor de água do produto (kg de água .kg de matéria seca-1);

Ui: teor de água inicial do produto (kg de água .kg de matéria seca-1);

Ue: teor de água de equilíbrio do produto (kg de água .kg de matéria seca-1).

Para o cálculo da umidade de equilíbrio (Ue), foi feita a higroscopicidade dos grãos de moringa para identificar o modelo matemático que mais se ajustou aos dados experimentais, sendo este determinado pelo modelo de Sabbah (Abreu et al., 2019). Assim utilizou-se a Eq. 15:

$$Ue = 0,2574 \left(\frac{UR^{0,8912}}{T^{0,2885}} \right) \quad (15)$$

em que,

Ue: Teor de água do produto (b.s.);

UR: Umidade relativa do ar de secagem (decimal);

T: Temperatura do ar de secagem (°C).

A análise da cinética de secagem tem a representatividade dos dados experimentais nos modelos, comparou-se os valores experimentais com os dados estimados, determinou-se a porcentagem de erro médio relativo (P, %), erro médio estimado (SE) e teste do qui-quadrado (χ^2), com as equações a seguir (Ryan, 2009).

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - Y_0|}{Y} \quad P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - Y_0|}{Y} \quad (16)$$

$$SE = \sqrt{\sum \frac{(Y - Y_0)^2}{GLR}} \quad SE = \sqrt{\sum \frac{(Y - Y_0)^2}{GLR}} \quad (17)$$

$$\chi^2 = \sum \frac{(Y - Y_0)^2}{GLR} \quad \chi^2 = \sum \frac{(Y - Y_0)^2}{GLR} \quad (18)$$

em que,

Y - valor observado experimentalmente

Y0 - valor calculado pelo modelo

n - número de observações experimentais

GLR - graus de liberdade do modelo

A massa específica dos grãos foram feitas antes e depois das secagens, para determinar a contração volumétrica em cada temperatura do ar de secagem. A massa específica aparente foi realizada por análise de peso hectolitro, de acordo com as Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 1992).

A extração do óleo foi feita utilizando prensa mecânica, tipo expeller. O rendimento (Rm, %) e a eficiência (Ef, %) de extração foram calculados a partir da diferença do teor lipídico obtido pela extração química inicial do grão e residual da torta, com solvente n-hexano, visto que este foi determinado universal para oleaginosas, por ter praticamente eficiência total, utilizando as equações 19 e 20, respectivamente.

$$Rm = Tg - Tt \quad Rm = Tg - Tt \quad (19)$$

em que,

Rm – Rendimento de extração mecânica de óleo (%)

Tg – Teor de óleo do grão (%)

Tt – Teor de óleo da torta (%)

$$Ef = (Rm \times 100) / Tg \quad Ef = (Rm \times 100) / Tg \quad (20)$$

em que,

Ef – Eficiência da Prensa mecânica (%)

Rm – Rendimento de extração mecânica de óleo (%)

Tg – Teor de óleo do grão (%)

As extrações, bem como as análises, foram realizadas em três repetições. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, ($p < 0,05$), utilizando-se o programa Sisvar, versão 5.5 (FERREIRA, 2003).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os modelos descritos, na Tabela 1, foi desenvolvida a modelagem mais representativa para os dados experimentais de razão de umidade e tempo, com base nos parâmetros de coeficientes de determinação (R^2), erros médios relativo (P), estimado (SE) e teste do qui-quadrado (χ^2), para cada modelo matemático aplicado. Dentre eles, o mais representativo foi o Exponencial de Dois Termos, apresentado na Tabela 2, tendo o melhor ajuste nas diferentes temperaturas.

Tabela 2 - Parâmetros, erros médios relativos, estimado e qui-quadrado obtidos do modelo Exponencial de Dois Termos, ajustado aos dados de secagem dos grãos de moringa, para as diferentes temperaturas do ar de secagem.

Temperatura (°C)	a	k	R^2 (%)	P (%)	SE (decimal)	χ^2 (decimal)
40°C	0,3799	1,1475	99,80	6,51	0,1670	0,0279
55°C	0,1954	4,7755	99,98	6,71	0,3991	0,1592
70°C	0,2949	4,3926	99,73	1,37	0,8634	0,7455

Fonte: Do Autor (2019).

De acordo com Teixeira et al. (2012) ajustes em que R^2 for inferior à 90% e P superior à 10%, não representam de forma ideal os dados. Dentre os valores dos parâmetros estatísticos obtidos para os modelos aplicados, Page e Valcam apresentaram satisfatórios coeficientes de ajuste para temperatura mais baixa de secagem, 40°C, sendo, respectivamente, o coeficiente de determinação (R^2) 99,74% e erro médio relativo (P) 8,71%; R^2 99,44% e P 0,68%. Para

temperatura de secagem de 55°C, os modelos Aproximação da Difusão e de Midilli tiveram ajustes expressivos, respectivamente de R² 99,98% e P 5,98%; R² 99,97% e P 3,64%.

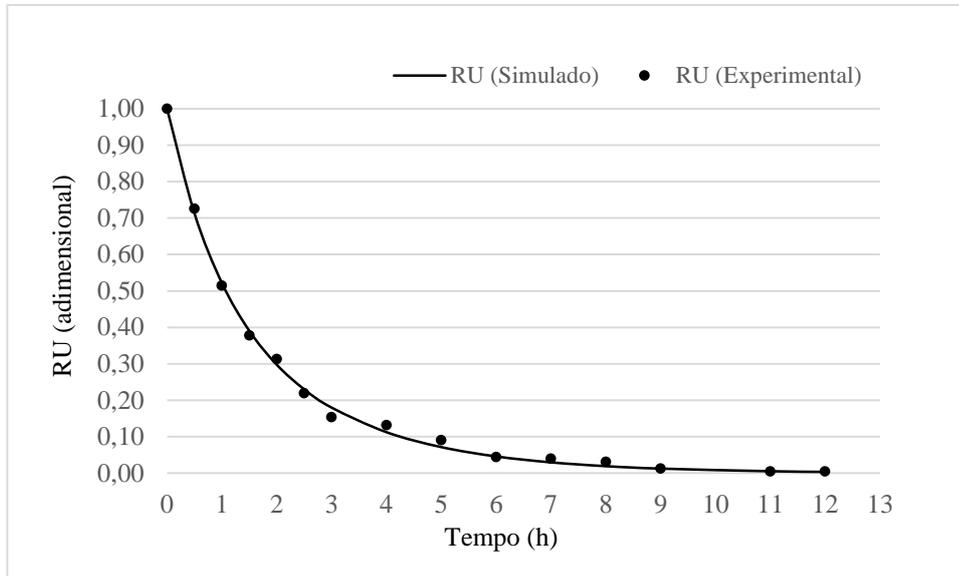
O modelo Exponencial de Dois Termos foi o que apresentou valores satisfatórios para todas as temperaturas do ar de secagem, tendo elevados valores de R² e baixos valores de P, SE e χ^2 , sendo o melhor para representar a cinética de secagem dos grãos de moringa oleífera, apresentando coeficientes de determinação acima de 99,73%, e erros médios relativos, estimados e qui-quadrados, respectivamente, abaixo de 6,71%; 0,8634;0,7455.

Nascimento et al. (2015) avaliaram o ajuste dos modelos de Page, Midilli, Newton e da segunda lei de Fick aos dados experimentais da secagem convectiva com aplicação de radiação infravermelha de grãos de Moringa oleifera L., para as temperaturas de 30°C, 45°C e 60°C e velocidade do ar de secagem de 0,55 à 1,05 m.s⁻¹, encontrando como melhor modelo ajustado aos dados experimentais para todas as variáveis o de Midilli.

Segundo Abano et al. (2011), Silva et al. (2014) e Melo et al. (2015) o modelo de Midilli teve o melhor ajuste na secagem de diferentes produtos agrícolas, entretanto Radünz et al. (2011) afirma que a melhor adequação ao modelo depende do produto, sendo necessário o estudo individual e em diferentes temperaturas para esta determinação.

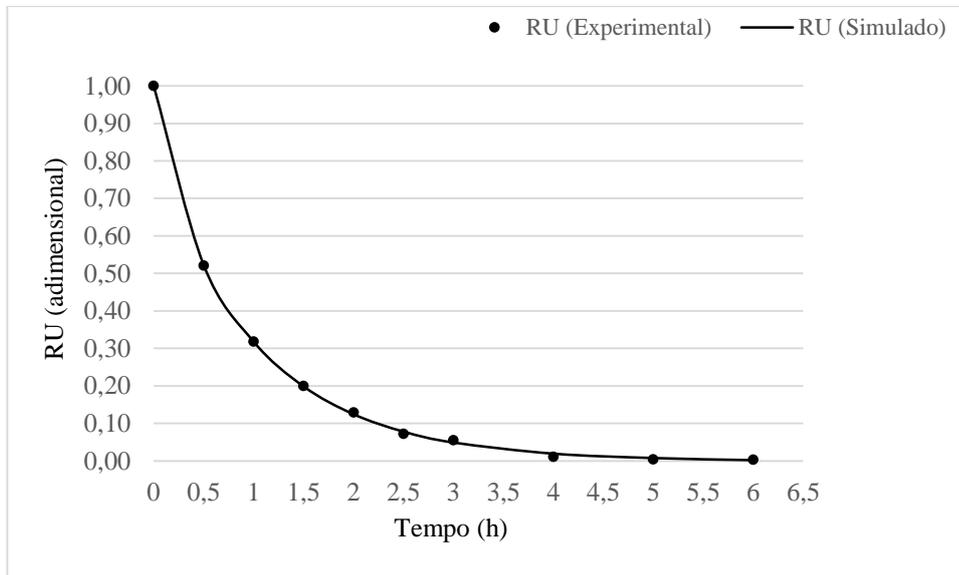
As curvas de secagem em diferentes temperaturas do ar para os grãos de moringa, relacionadas aos valores simulados pelo modelo Exponencial de Dois Termos, estão apresentadas nas figuras de 1 à 3. A proximidade dos valores experimentais ajustados em relação à curva estimada pelo modelo, demonstram que este se adequou de forma significativa nas diferentes temperaturas do ar de secagem.

Figura 1 - Cinética de secagem dos grãos de moringa com valores de razão de umidade dos dados experimentais e simulados pelo modelo Exponencial de Dois Termos, na temperatura do ar de secagem de 40°C.



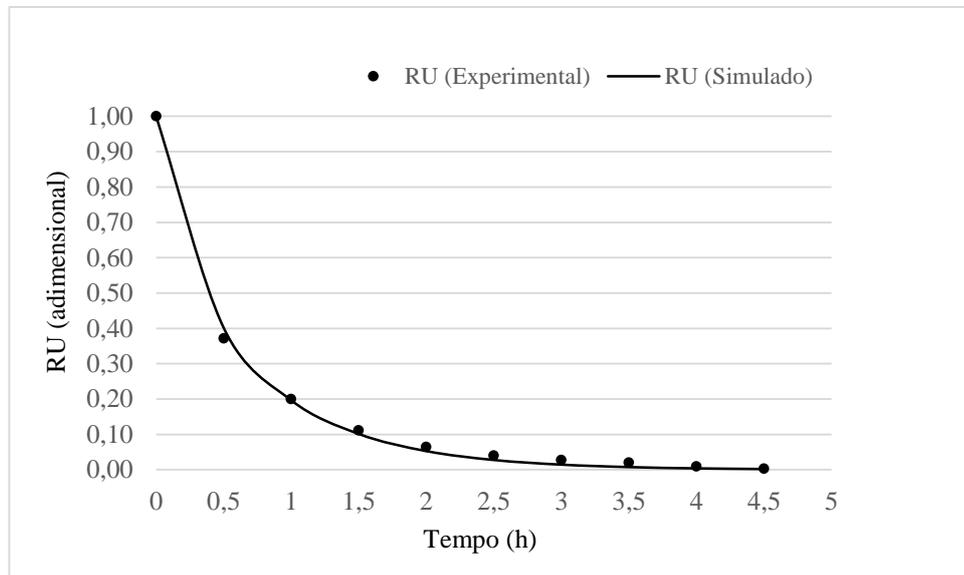
Fonte: Do Autor, 2019.

Figura 2 - Cinética de secagem dos grãos de moringa com valores de razão de umidade dos dados experimentais e simulados pelo modelo Exponencial de Dois Termos, na temperatura do ar de secagem de 55°C.



Fonte: Do Autor (2019).

Figura 3 - Cinética de secagem dos grãos de moringa com valores de razão de umidade dos dados experimentais e simulados pelo modelo Exponencial de Dois Termos, na temperatura do ar de secagem de 70°C.



Fonte: Do Autor (2019).

A temperatura do ar afetou significativamente a cinética de secagem dos grãos de moringa. O tempo em que o produto entrou em equilíbrio foi inversamente proporcional à temperatura. Isso ocorre devido a redução da viscosidade da água com a elevação da temperatura do ar de secagem, afetando diretamente a resistência do fluido ao escoamento, facilitando a difusão das moléculas de água nos capilares do produto (ALVES, 2013; CORRÊA et al., 2011).

A temperatura do ar no processo de secagem dos grãos, pode causar modificação na estrutura física destes, e afetar no rendimento de extração, concomitantemente na eficiência da prensa mecânica. Na Tabela 3 estão apresentados os resultados dos efeitos deste fenômeno no desempenho da extratora na obtenção do óleo de moringa.

Tabela 3 - Efeitos da secagem no rendimento de extração de óleo pelo método mecânico.

	Massa específica (g.cm ⁻³)	Rendimento de extração (%)	Eficiência da prensa (%)
Testemunha	0,1370 a	16,50 a	67,26 a
40°C	0,1434 ab	16,29 a	67,48 a
55°C	0,1548 b	6,08 b	26,32 b
70°C	0,1773 c	4,57 b	18,51 c
CV (%)	2,77	6,79	7,50

* *Os valores com as mesmas letras na coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey. C.V.: coeficiente de variação.

Fonte: Do Autor (2019).

O aumento da temperatura do ar de secagem foi diretamente proporcional a massa específica dos grãos, indicando uma contração volumétrica significativa destes, visto que foram secos até atingirem o mesmo teor de água. Segundo Mayor & Sereno (2004), uma das mais importantes mudanças físicas que ocorrem nos produtos agrícolas durante a secagem é a redução do seu volume externo, por a perda de água causar danos à estrutura celular do produto, levando à mudança na forma e no decréscimo em sua dimensão. Isso ocorre pela redução no tamanho celular durante o processo, o qual pode ser modificado pelas condições de secagem, como diferentes temperaturas do ar de secagem, afetando os parâmetros da transferência de calor e massa (KROKIDA; MAROULIS, 1997; RAMOS et al., 2003). As variações volumétricas, pela sua desidratação, são relatadas como as principais causas das alterações das propriedades físicas dos produtos agrícolas e tem sido objeto de estudo de diversos pesquisadores (CORRÊA et al., 2002, 2004, 2006; RIBEIRO et al., 2005; RESENDE et al., 2005; RAMOS et al., 2005; RAZAVI et al., 2007a; 2007b; KOÇ et al., 2008).

O rendimento de extração de óleo, bem como a eficiência da prensa mecânica, diferiram significativamente de acordo com teste estatístico aplicado, entre os grãos secos com diferentes temperaturas do ar de secagem. Com o incremento destas, houve menor rendimento e eficiência da extratora, sendo respectivamente de, 16,29% e 67,48% para a de 40°C; 6,08% e 26,32% para a de 55°C e 4,57% e 18,51% para os secos à 70°C. Segundo Wiesenborn et al. (2001) o rendimento em óleo é afetado por parâmetros construtivos da prensa, como dimensionamentos do eixo sem fim e da gaiola, pressão aplicada sobre a massa de grãos, como também pelo preparo prévio da matéria-prima a ser processada, como a estrutura física desta, temperatura de prensagem e teor de água das amostras. Correlacionando a eficiência de extração de óleo com a massa específica, pôde-se observar que quanto maior a temperatura do ar de secagem, maior foi a contração volumétrica dos grãos e menor a eficiência da prensa, denotando o efeito da forma do produto na obtenção de óleo pelo método mecânico.

4 CONCLUSÃO

O modelo Exponencial de Dois Termos foi o que apresentou valores mais satisfatórios para representar a cinética de secagem dos grãos de moringa, tendo elevados R² e baixos P, SE e χ^2 , nas temperaturas do ar de secagem de 40°C, 55°C e 70°C.

Os modelos de Page e Valcam apresentaram bons coeficientes de ajuste para temperatura do ar de secagem de 40°C, e o de Midilli e Aproximação da Difusão para temperatura de 55°C.

O aumento da temperatura do ar de secagem ocasionou maior contração volumétrica dos grãos de moringa, o que afetou o rendimento de extração de óleo, resultando em menor eficiência da prensa mecânica.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. T.; ARAÚJO, B. L. O.; ANDRADE, E. T.; GARCIA, C. G.; BARBOSA, M. L. O.; SILVA, R. J. P. S. **Modelagem matemática da higroscopicidade dos grãos de Moringa oleifera Lam.** XXXII Congresso de Iniciação Científica, UFLA; 2019
- ALVES, M. C. S.; MEDEIROS FILHO, S.; BEZERRA, A. M. E.; OLIVEIRA, V. C. **Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de Moringa oleifera L. em diferentes locais de germinação e submetidas à pré-embebição.** Ciênc. Agrotec. Lavras, v. 29, n. 5, p. 1083-1087, 2005.
- AMAGLO, N.K., BENNETT, R.N., LO CURTO, R.B., ROSA, E.A.S., LO TURCO, V., GIUFFRIDA, A., LO CURTO, A., CREA, F.; TIMPO, G.M. **Profiling selected phytochemicals and nutrients in different tissues of the multipurpose tree Moringa oleifera L., grown in Ghana.** Food Chem. v.122, p. 1047–1054, 2010.
- ANWAR, F. AND M.I. BHANGER. **Analytical characterization of Moringa oleifera seed oil grown in temperate regions of Pakistan.** J. Agric. Food Chem., v.51, p. 6558-6563, 2003.
- ANWAR, F., LATIF, S., ASHRAF, M. and GILANI, A.H. **Moringa oleifera: A food plant with multiple medicinal uses.** Phytother. Res. 21, p. 17-25, 2007.
- ATAWODI, J.C., IDAKWO, G.A., PFUNDSTEIN, B., HAUBNER, R., WURTELE, G., BARTSCH, H. and OWEN, R.W. **Evaluation of the polyphenol content and antioxidant properties of methanol extracts of the leaves, stem, root barks of Moringa oleifera Lam.** J. Med. Food, v. 13, p. 710–716, 2010.
- ARAÚJO, E. F. et al. **Qualidade fisiológica de sementes de milho-doce submetidas à debulha, com diferentes graus de umidade.** Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v. 01, n. 02, p. 101110, 2002.
- ALMEIDA, F. N. ; HTOO, J. K. ; THOMSON, J. ; STEIN, H. H., 2013. **Amino acid digestibility in camelina products fed to growing pigs.** Can. J. Anim. Sci., 93 (3): 335–343
- AGUSTINI, M. A. B.; WENDT, L.; PAULUS, C.; MALAVASI, M. M.; GUSATTO, F. C. **Maturidade fisiológica de sementes de Moringa oleifera Lam.** Revista Inova Ciência & Tecnologia, v.8, p. 267-278, 2015.
- ALVES, G. E. et al. **Cinética de secagem de café natural para diferentes temperaturas e baixa umidade relativa.** Coffee Science, Lavras, v. 8, n. 2, p. 238-247, 2013.

ABANO, E. E.; MA, H.; QU, W.; TEYE, E. **Length Research Paper Modeling pre-treatments effect on drying kinetics of garlic (*Allium sativum* L.) slices in a convective hot air dryer.** African Journal of Food Science, African, v. 5, n. 7, p. 425 – 435, 2011

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes.** Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992.

CORRÊA, P.C.; RESENDE, O.; GARIN, S.A.; JAREN, C.; OLIVEIRA, G.H.H. **Mathematical models to describe the volumetric shrinkage rate of red beans during drying.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.31, n.4, p.716-726, 2011.

CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; QUEIROZ, D. M.; SAMPAIO, C. P.; CARDOSO, J. B. **Variação das dimensões características e da forma dos frutos de café durante o processo de secagem.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6, n. 3, p. 466-470, 2002.

CORRÊA, P. C.; RIBEIRO, D. M.; RESENDE, O.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; GONELI, A. L. D. **Mathematical modelling for representation of coffee berry volumetric shrinkage.** In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 14., 2004, São Paulo. Proceedings... São Paulo: IDS, 2004. v. A, p. 742-747.

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, 2006.

GONELI, A.L.D.; NASU, A.K.; GANCEDO, R.; ARAÚJO, W.D.; SARATH, K.L.L. **Cinética de secagem de folhas de erva baleeira (*Cordia verbenacea* DC.).** Revista brasileira de plantas medicinais, Botucatu, 2014, vol.16, n.2, suppl.1, pp. 434-443.

GUARTE, R. C.; MUHLBAUER, W.; KELLERT, M. **Drying characteristics of copra and quality of copra and coconut oil.** Postharvest Biology and Technology, v. 9, n. 3, p. 361-372, 1996.

KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B. **Effect of drying method on shrinkage and porosity.** Drying Technology, v. 15, n. 10, p. 2441-2458, 1997.

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.

MAYOR, L.; SERENO, A. M. **Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review.** Journal of Food Engineering, v. 61, n. 3, p. 373-386, 2004.

MELO, J. C. S.; PEREIRA, E. D.; OLIVEIRA, K. P.; COSTA, C. H. C.; FREITOSA, R. M. **Estudo da cinética de secagem da pimenta de cheiro em diferentes temperaturas.** Revista Verde, Pombal – PB, v. 10, n. 2, p. 09 -14, 2015.

MBIKAY, M. **Therapeutic potential of *Moringa oleifera* leaves in chronic hyperglycemia and dyslipidemia: A review.** Front. Pharmacol. v. 24, p. 1-12, 2012.

NASCIMENTO, V. R. G.; BIAGI, J. D.; OLIVEIRA, R. A. de. **Modelagem matemática da secagem convectiva com radiação infravermelha de grãos de Moringa oleífera**. Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental, v.19, p.686-692, 2015.

RASHID, U.; ANWAR, F.; MOSER, B. R.; KNOTHE, G. **Moringa oleífera oil: a possible source of biodiesel**. Bioresource Technology, n. 99, p. 8175-8179, 2008.

RADÜNZ, L. L.; AMARAL, A. S.; MOSSI, A. J.; ROCHA, R. P. **Avaliação da cinética de secagem de carqueja**. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.19, n.1, p.19-27, 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.

RIBEIRO, D. M.; CORRÊA, P. C.; RODRIGUES, D. H.; GONELI, A. L. D. **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.

RAZAVI, S. M. A.; EMADZADEH, B.; RAFE, A.; AMINI, A. M. **The physical properties of pistachio nut and kernel as a function of moisture content and variety: Part I. Geometrical properties**. Journal of Food Engineering, v. 81, n. 1, p. 209-217, 2007a.

RAZAVI, S. M. A.; RAFE, A.; MOHAMMADI MOGHADDAM, T.; AMINI, A. M. **The physical properties of pistachio nut and kernel as a function of moisture content and variety: Part II. Gravimetric properties**. Journal of Food Engineering, v. 81, n. 1, p. 218-225, 2007b.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; CECON, P. R. **Forma, tamanho e contração volumétrica do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v. 7, n. 1, p. 15-24, 2005.

RAMOS, I. N.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. **Integrated approach on solar drying, pilot convective drying and microstructural changes**. Journal of Food Engineering, v. 67, n. 1, p. 195-203, 2005.

SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S.; GAMA, F. J. A.; GOMES, J. P. **Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine drying rate of whole bananas**. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, v. 13, p. 67-74, 2014.

TANGO, J. S.; CARVALHO, C. R. L.; SOARES, N. B. **Caracterização física e química de frutos de abacate visando a seu potencial para extração de óleo**. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 26, n. 1, p. 17-23, 2004.

WIESENBERN, D., DODDAPANENI, R., TOSTENSON, K., KANGAS, N. **Cooking indices to predict screw-press performance for crambe seed**. Journal of the American Oil Chemists' Society, v. 78, p. 467 – 471, 2001.

ARTIGO 2 - PROSPECÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO DE MORINGA OLEIFERA LAM. E QUALIDADE BROMATOLÓGICA DA TORTA, PROVENIENTES DE DIFERENTES TIPOS DE PROCESSAMENTO DOS GRÃOS.

RESUMO

A Moringa oleifera Lam. é uma planta resistente a seca e capaz de sobreviver em solos pobres, obtendo até três colheitas por ano. Esta cultura possui ampla empregabilidade, seus grãos possuem alto teor lipídico e proteico. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar a prospecção química do óleo e qualidade bromatológica da torta de moringa, provenientes da secagem dos grãos nas temperaturas do ar de 40°C, 55°C, 70°C, como também dos métodos de extração de óleo, químico e mecânico. Foram utilizados grãos de Moringa oleifera Lam. pré-secos, provenientes da cidade de Barreirinhas (MA), da safra do segundo semestre de 2018, e o experimento foi conduzido no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras (MG). A secagem artificial foi feita até a massa constante dos grãos, por meio da utilização de um secador mecânico de laboratório em camada fixa com convecção forçada, na velocidade do ar de 0,33 m.s⁻¹, com temperaturas controladas do ar de secagem de 40°C, 55°C, e 70°C. A extração do óleo foi feita pelo método mecânico, utilizando prensa, tipo expeller e, químico com solvente orgânico hexano, com o equipamento tipo soxhlet. O rendimento e a eficiência da prensa foram calculados a partir da diferença do teor lipídico obtido pela extração química inicial do grão e residual da torta. Os óleos extraídos foram avaliados qualitativamente quanto aos índices de acidez, peróxido e iodo, como também foi feita a composição química dos ácidos graxos por cromatografia gasosa, das amostras secas nas diferentes temperaturas do ar de secagem. As tortas provenientes das extrações mecânicas, foram avaliadas quanto ao teor de água, extrato étereo, proteína bruta, cinzas e fibras em detergente neutro. As temperaturas do ar de secagem de 40°C, 55°C, 70°C afetaram significativamente a qualidade físico-química do óleo e da torta de moringa, tendo como melhor resultado as amostras provenientes dos grãos secos à 40°C. A composição dos principais ácidos graxos não foi alterada de acordo com método estatístico aplicado, sendo estes o ácido graxo oléico (73,60 à 77,07%), erúico (5,65 à 6,67%) e palmitoléico (4,90 à 5,72%). A extração química de óleo, apesar de mais eficiente que a mecânica, apresentou maiores índices de acidez e peróxido. O teor de fibras em detergente neutro e proteína bruta da torta, diminuiu significativamente para os grãos secos com temperatura do ar de secagem acima de 40°C.

Palavras-chave: Secagem, extração de óleo, ácidos graxos.

1 INTRODUÇÃO

A Moringa oleifera Lam. é uma planta, também conhecida como Acácia branca, tolerante a ampla faixa de pH (5 a 9), podendo alcançar até 4 metros de altura em um ano e, quando adulta, obtêm uma produção anual de 3 a 5 toneladas de sementes por hectare. Cresce rapidamente, é capaz de sobreviver em solos pobres, sendo bastante resistente em longos períodos de seca (ALVES et al., 2005; RASHID et al., 2008).

Os grãos de moringa têm aproximadamente 40% de óleo, com percentual elevado de ácido oleico, em torno de 78% (ANWAR & BHANGER, 2003; RASHID et al., 2008; SANTANA et al., 2010). Além disto, o óleo apresenta excelente estabilidade oxidativa, com a presença de δ -tocoferol, auxiliando na preservação durante o processamento e armazenamento, e é utilizado industrialmente para lubrificar relógios, maquinarias delicadas, na fabricação de perfumes, biodiesel, como também tem sido estudado o seu efeito antioxidante quando adicionado a outros óleos (ANWAR & BHANGER, 2003; ANWAR et al. 2007; AMAGLO et al. 2010; ATAWODI et al. 2010; MBIKAY, 2012).

A farinha resultante da extração do óleo dos grãos de moringa pode ser tanto utilizada como coagulante na purificação de água, como na suplementação da alimentação de aves e produção de fertilizantes, por apresentar alto conteúdo de proteínas, que pode variar de 26,5 a 32%. Esta oleaginosa é um vegetal de múltiplas aplicações, favorecendo o uso sustentável da espécie, podendo gerar benefícios financeiros e sociais nos locais onde é cultivada (ANWAR & BHANGER, 2003; ANWAR et al., 2007; SÁNCHEZ-MACHADO et al., 2010).

Apesar da ampla empregabilidade desta cultura e o crescimento de seu cultivo, presente em mais de treze estados do Brasil, poucos são os estudos sobre o processamento desses grãos e a manutenção da sua qualidade, que está diretamente relacionada a composição química destes. Dentre as etapas do processamento de moringa, a secagem e a extração de óleo são de maior influência nas propriedades dos produtos finais. Temperaturas do ar de secagem mais altas podem acelerar o processo de retirada de água dos grãos e torná-lo mais econômico (GIRANDA, 1998). No entanto, podem causar mudanças físicas e químicas nestes, e conseqüentemente a desvalorização do óleo e da torta. Diversas pesquisas têm demonstrado que temperaturas, na massa de diferentes produtos agrícolas, acima de 40°C podem causar prejuízos à qualidade (BORÉM et al., 2006; AQUINO et al., 2009; MARQUES, 2008).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi estudar a prospecção química do óleo e qualidade bromatológica da torta de moringa, provenientes da secagem dos grãos nas temperaturas do ar de 40°C, 55°C, 70°C, como também dos métodos de extração de óleo, químico e mecânico

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Foram utilizados grãos de Moringa oleífera Lam. pré-secos, provenientes da cidade de Barreirinhas (MA), da safra do segundo semestre de 2018. A secagem foi feita no Laboratório de

Processamento de Produtos Agrícolas e as extrações de óleo e análises no Laboratório de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gordura e Biodiesel, ambos no Departamento de Engenharia Agrícola desta instituição.

Os grãos foram colhidos logo após atingirem o ponto de maturidade fisiológica, que é identificado pela coloração marrom escura das vagens (AGUSTINI et al., 2015), das quais foram retirados manualmente e, posteriormente, passaram pela pré-limpeza.

A secagem artificial foi feita até a massa constante dos grãos, por meio da utilização de um secador mecânico de laboratório em camada fixa com convecção forçada, na velocidade do ar de 0,33 m.s⁻¹, com temperaturas controladas do ar de secagem de 40°C, 55°C, e 70°C. O teor de água das amostras, foi feito antes e depois da secagem, de acordo com as recomendações das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992), onde utilizou-se o método de estufa à 105 ± 3 °C, durante 24 horas. O experimento foi composto por triplicatas, cada qual com massa de ± 1,7 kg, secas nas diferentes temperaturas.

A extração mecânica de óleo foi feita em prensa do tipo expeller, com sistema de extração radial tubular, modelo ERT 50, sendo coletadas a cada passagem dos grãos na máquina, amostras de óleo e da torta para posterior análise qualitativa. Os grãos foram passados na extratora por três vezes consecutivas, sendo quatro diferentes amostras: grãos secos à 40°C, 55°C, 70°C e a testemunha.

O teor de óleo foi feito por extração química pelo método Soxhlet, com solvente orgânico hexano (AOCS, 1998). O rendimento foi calculado a partir da diferença do teor lipídico obtido pela extração química inicial do grão e residual da torta, de acordo com a equação 1, visto que este foi determinado universal para oleaginosas, por ter praticamente eficiência total (LUSAS et al., 1991). Os óleos extraídos pelo método químico e mecânico foram avaliados qualitativamente quanto aos índices de acidez, peróxido e iodo de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008).

As amostras de óleo obtidas por extração química foram submetidas a determinação da composição de ácidos graxos a partir da análise dos ésteres metílicos, a fim de verificar os efeitos da temperatura do ar de secagem no óleo. As amostras de óleo foram esterificadas e, posteriormente, retiradas alíquotas de 10 µL e diluídas em 1 mL de hexano e analisadas em um cromatógrafo em fase gasosa GC2010 SHIMADZU, equipado com um detector de ionização de chama (FID), um injetor automático e uma coluna SP 2560 (100 m X 0,25mm X 0,20 µm). A temperatura inicial do forno foi de 150 °C, e permaneceu por 5 min. Em seguida, a temperatura foi elevada para 240 °C, com uma taxa de aquecimento de 15 °C por min,

permanecendo nessa temperatura por mais 5 min (IAL, 2008). O FAME 37 (Fatty Acid Methyl Esters) foi utilizado como padrão. Os testes catalíticos foram realizados no Centro de Análises e Prospecção Química (CA PQ) do Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras.

As tortas provenientes das extrações mecânicas dos diferentes tratamentos de temperatura do ar de secagem foram avaliadas quantitativamente quanto ao teor de água, extrato étereo, proteína bruta, cinzas e fibras em detergente neutro, segundo Silva (1990).

As extrações e análises foram realizadas em três repetições. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, ($p < 0,05$), utilizando-se o programa Sisvar (FERREIRA, 2003).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os principais índices que determinam a qualidade de óleos estão apresentados na Tabela 1, para as amostras de grãos de moringa processadas em diferentes temperaturas do ar de secagem e métodos de extração de óleo. De acordo com a baixa eficiência da prensa mecânica na extração do óleo dos grãos secos à 70°C e excesso de borra contida neste, não houve quantidade suficiente para as análises qualitativas.

Tabela 4 - Índices de qualidade do óleo de moringa por extração mecânica (E.M.) e química (E.Q), dos grãos secos em diferentes temperaturas do ar.

		Índice de Acidez (mg NaOH.g ⁻¹)	Índice de Peróxido (meq.kg ⁻¹)	Índice de Iodo (mg I.100 mg ⁻¹)
	Úmido	1,19 a	3,53 b	53,81 a
E. M.	40°C	1,17 a	1,94 a	52,90 a
	55°C	2,18 b	4,72 c	56,38 a
E. Q.	Úmido	5,92 B	7,91 A	52,36 A
	40°C	2,08 A	14,73 C	53,02 A
	55°C	2,44 A	9,27 B	47,78 A
	70°C	2,61 A	28,62 D	55,51 B

* *Os valores com as mesmas letras na coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Fonte: Do Autor (2019).

O índice de acidez é um dos principais parâmetros de qualidade para aceitabilidade de óleos vegetais, por determinar a quantidade de ácidos graxos livres presentes. Este, se elevado, pode indicar alterações químicas, comprometendo a utilização do óleo tanto para fins

alimentícios, quanto carburantes (GALVÃO, 2007; RODRIGUES FILHO, 2010). A temperatura do ar de secagem, bem como o método de extração afetaram significativamente a acidez do óleo de moringa. Para o método mecânico, o índice de acidez teve um aumento, dos grãos secos na temperatura de 40°C para 55°C, de respectivamente, 1,17 para 2,18mg NaOH.g⁻¹. De acordo com as exigências da indústria alimentícia e de biocombustíveis, para utilização de óleo, este índice deve ser igual ou inferior a 1,0 mgNaOH.g⁻¹, para que não haja a necessidade de tratamento do produto, o que geralmente demanda tempo, custos e geração de resíduos (CANDEIA, 2008; RODRIGUES FILHO, 2010). Os valores neste parâmetro de qualidade, não foram significativos entre os tratamentos de secagem, na obtenção química do óleo, entretanto foi superior ao extraído com a utilização de prensa, secos à 40°C. O método de extração com solvente orgânico hexano, tem se mostrado o mais eficiente frente as outras tecnologias por obter maior rendimento, visto que a amostra permanece em contato com o mesmo, até a total retirada do óleo. Entretanto, o tempo de processamento e a temperatura de extração, sendo para este solvente de no mínimo 69°C, de acordo com seu ponto de ebulição, podem afetar a qualidade do produto (BRUM et al., 2009).

O índice de peróxido representa outro indicativo importante de qualidade, por indicar o grau de oxidação do óleo. Alterações nas características sensoriais deste são em geral atribuídas à presença de peróxidos na matéria graxa (LUTZ, 2008). O óleo de moringa teve como menor valor de índice de peróxido, a amostra de grãos secos à 40°C e extraído pelo método mecânico, sendo de 1,94 meq.kg⁻¹. A extração química deste associada ao aquecimento e tempo de secagem do produto, teve expressivos valores de peróxidos. De acordo com a resolução ANVISA nº 482/1999, o limite máximo para índice de peróxidos para óleos comestíveis é de 10 meq.kg⁻¹. Os processos de oxidação em alimentos são responsáveis pela redução da vida de prateleira das matérias primas e dos produtos industrializados levando a importante perda econômica. A rancidez ocorre principalmente durante o processamento do produto, podendo resultar em alterações dos principais parâmetros de qualidade como a cor, produção de compostos voláteis responsáveis pela formação de sabores e odores desagradáveis, e consequentemente, reduzindo o tempo de armazenamento (MALLÉGOL, 2000; DEGÁSPARI & WASZCZYNSKYJ, 2004; NOGALA-KALUCKA et al., 2005).

O grau de insaturação do óleo pode indicar a tendência à oxidação deste. O índice de iodo é usado para prever a presença de duplas ligações em um éster de ácido graxo. Para este não houve variação significativa nos métodos de extração de óleo e nos tratamentos de secagem, com exceção da amostra seca à 70°C. Aspectos como sazonalidade da oleaginosa ou diferentes

tipos de processamento do óleo, podem alterar o grau de insaturação (MAIA, 2006). Na Tabela 2 está apresentada a composição de ácidos graxos dos óleos de moringa extraídos pelo método químico, das amostras de grãos das diferentes temperaturas do ar de secagem.

Tabela 5 - Composição dos ácidos graxos presentes nos óleos de moringa.

Composição de Ácidos Graxos	Úmido (%)	40°C (%)	55°C (%)	70°C (%)
Ácido Mirístico (C14:0)	0,09 a	0,00 b	0,08 a	0,08 a
Ácido cis - 10 - Pentadecanóico (C15:1)	0,01 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Ácido Palmitoléico (C16:1)	5,72 a	4,90 a	4,97 a	5,08 a
Ácido Heptadecanóico (C17:0)	1,18 a	1,06 a	1,03 a	1,10 a
Ácido cis- 10 -Heptadecanóico (C17:1)	0,00 a	0,00 a	0,08 b	0,08 b
Ácido Elaídico (C18:1 n-9)	5,32 a	4,55 a	4,56 a	4,29 a
Ácido Oléico (C18:1 n-9)	73,60 a	77,07 a	76,61 a	76,58 a
Ácido Linoléico (C18:2)	0,00 a	0,56 b	0,56 b	0,52 b
Ácido Arquídico (C20:0)	3,32 a	2,84 a	2,84 a	2,80 a
Ácido cis - 11, 14 - Eicosênóico (C20:1)	2,76 a	2,40 a	2,40 a	2,39 a
Ácido Erúcico (C22:1 n-9)	6,67 a	5,65 a	5,83 a	6,12 a
Ácido Araquidônico (C20:4 n-6)	0,12 a	0,00 b	0,10 a	0,00 b
Ácido Tetracosanóico	0,09 a	0,00 b	0,00 b	0,00 b
Ácido Eicosapentanóico (EPA C20:5 n-3)	1,12 a	0,97 a	0,94 a	0,89 b

* *Os valores com as mesmas letras na linha, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Fonte: Do Autor (2019).

Os óleos vegetais contêm diferentes tipos de ácidos graxos que, dependendo do comprimento da cadeia e do grau de insaturação, podem representar o parâmetro de maior influência sobre as propriedades desses compostos (KNOTHE, 2005). O processamento dos grãos podem alterar a composição química do óleo, causando a degradação de ácidos graxos presentes. O óleo de moringa teve como ácido graxo predominante o ácido oleico (73,60% - 76,61%), seguido pelos ácidos erúcico (5,65% - 6,67%), palmitoléico (4,90% - 5,72%) e elaídico (4,29% - 5,32%). Óleos ricos em ácido oleico e ácidos graxos saturados possuem alta estabilidade oxidativa, sendo resistentes à processamentos térmicos e longos períodos de armazenamento (NGUYEN et al., 2011; LEONE et al., 2016). Os grãos de moringa submetidos à diferentes temperaturas do ar de secagem, não tiveram diferença significativa na composição dos principais ácidos graxos que compõem o óleo.

Na Tabela 3 estão apresentados as análises de qualidade das tortas provenientes dos grãos de moringa secos em diferentes temperaturas do ar de secagem.

Tabela 6 - Análise bromatológica das tortas de moringa, antes e depois das secagens dos grãos.

	Teor de água (b.s)	Extrato Étereo (%)	Fibras - FDN (%)	Proteína (%)	Matéria Mineral (%)
Torta úmida	0,0703a	8,03 a	38,60 a	35,55 a	4,82 a
Torta 40°C	0,0299 b	8,06 a	37,45 a	35,88 a	4,77 a
Torta 55°C	0,0237 b	19,95 b	32,24 b	30,24 b	4,18 a
Torta 70°C	0,0295 b	21,59 b	27,78 c	32,07 b	4,34 a

* *Os valores com as mesmas letras na coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Fonte: Do Autor (2019).

A elevação da temperatura do ar de secagem dos grãos de moringa, influenciou significativamente os parâmetros nutricionais da torta. A extração de óleo por prensa mecânica, resultou em alto valor de extrato étereo, pela baixa eficiência, para os grãos secos à cima de 55°C. A proteína bruta teve perda superior à 3% nas tortas provenientes de temperaturas altas do processo de secagem. As proteínas, em sua maioria, são desnaturadas quando expostas a moderado aquecimento, em torno de 60 a 90°C, por em média 1h (ARAÚJO, 2002; CARVALHO et al., 2009). A desnaturação excessiva resulta na sua insolubilização se consumida, já que afeta suas propriedades funcionais e aumenta sua viscosidade.

O percentual de proteínas presentes na torta de moringa é de importância comercial, visto que sua utilização se destaca como coagulante natural no tratamento de águas, tendo eficiência semelhante ao sulfato de alumínio, sendo uma tecnologia de baixo custo e favorecendo uma purificação mais aceitável do ponto de vista ambiental (NDABIGENGESERE & NARASIAH, 1998; LÉDO et al. 2010). Ghebremichael et al. (2005) corroboraram o efeito antimicrobiano da proteína coagulante de moringa, testada sobre *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Bacillus thuringiensis*. Pritchard et al (2010) afirmam que a redução de *E. coli* na água tratada com esta proteína, está relacionada à remoção de turbidez promovida pela coagulação.

A fibra em detergente neutro corresponde a celulose, hemicelulose e lignina, sendo o melhor indicativo para saber o teor de fibra, tendo grande importância na alimentação animal, por permitir estimar a qualidade de uma silagem (SAMPAIO, 2007). A casca dos grãos de moringa são ricas em fibras, fazendo com que a porcentagem desta na torta seja elevada. Houve

variação significativa de FDN nas tortas de moringa dos grãos secos nas temperaturas de 55°C e 70°C, diminuindo de 37,45% para 32,24% e 27,78%, respectivamente.

4 CONCLUSÃO

As temperaturas do ar de secagem de 40°C, 55°C, 70°C afetaram significativamente na qualidade físico-química do óleo e da torta de moringa. Tendo como melhor resultado as amostras provenientes dos grãos secos à 40°C. A composição dos principais ácidos graxos não foi alterada de acordo com método estatístico aplicado, sendo estes o ácido graxo oléico (73,60 à 77,07%), erúcido (5,65 à 6,67%) e palmitoléico (4,90 à 5,72%).

A extração química de óleo, apesar de mais eficiente que a mecânica, apresentou maiores índices de acidez e peróxido. O teor de fibras em detergente neutro e proteína bruta da torta, diminuiu significativamente para os grãos secos com temperatura do ar de secagem acima de 40°C.

REFERÊNCIAS

AGUSTINI, M. A. B.; WENDT, L.; PAULUS, C.; MALAVASI, M. M.; GUSATTO, F. C. **Maturidade fisiológica de sementes de Moringa oleifera Lam.** Revista Inova Ciência & Tecnologia, v.8, p. 267-278, 2015.

ALVES, M. C. S.; MEDEIROS FILHO, S.; BEZERRA, A. M. E.; OLIVEIRA, V. C. **Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de Moringa oleífera L. em diferentes locais de germinação e submetidas à pré-embebição.** Ciênc. Agrotec. Lavras, v 29, n. 5, p. 1083-1087, 2005.

AMAGLO, N.K., BENNETT, R.N., LO CURTO, R.B., ROSA, E.A.S., LO TURCO, V., GIUFFRIDA, A., LO CURTO, A., CREA, F.; TIMPO, G.M. **Profiling selected phytochemicals and nutrients in different tissues of the multipurpose tree Moringa oleifera L., grown in Ghana.** Food Chem. v.122, p. 1047–1054, 2010.

ANWAR, F., LATIF, S., ASHRAF, M. and GILANI, A.H. **Moringa oleifera: A food plant with multiple medicinal uses.** Phytother. Res. 21, p. 17-25, 2007.

AOCS - American Oil Chemists Society. **Official methods and recommended practices of the AOCS.** Champaign: A.O.C.S., 1998.

AQUINO, L. P., FERRUA, F. Q., BORGES, S. V., ANTONIASSI, R., CORREA, J. L. G., CIRILLO, M, A. **Influência da secagem do pequi (Caryocar brasiliense Camb.) na qualidade do óleo extraído.** Ciênc. Technol. Aliment. Campinas, v.29, n.2, p. 354-357, 2009.

ARAÚJO, E. F. et al. **Qualidade fisiológica de sementes de milho-doce submetidas à debulha, com diferentes graus de umidade.** Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v. 01, n. 02, p. 101110, 2002.

ATAWODI, J.C., IDAKWO, G.A., PFUNDSTEIN, B., HAUBNER, R., WURTELE, G., BARTSCH, H. and OWEN, R.W. **Evaluation of the polyphenol content and antioxidant properties of methanol extracts of the leaves, stem, root barks of *Moringa oleifera* Lam.** *J. Med. Food*, v. 13, p. 710–716, 2010.

BORÉM, F. M.; MARQUES, E. R.; ALVES, E. **Ultrastructural analysis damage in parchment *Arabica* coffee endosperm cells.** *Biosystems Engineering*, London, v. 99, n., p. 62-66, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes.** Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992.

BRUM, A. A. S.; ARRUDA, L. F.; REGITANO-D´ARCE, M. A. B. **Métodos de extração e qualidade da fração lipídica de matérias-primas de origem vegetal e animal.** *Química Nova*, v. 32, n. 4, p. 849-854, 2009.

CANDEIA, R.A.; SILVA, M.C.D.; CARVALHO FILHO, J.R.; BRASILINO, M.G.A.; BICUDO, T.C.; SANTOS, I.M.G. & SOUZA, A.G. 2008. **Influence of soy bean biodiesel content on basic properties of biodiesel– diesel blends.** *Fuel* 88: 738-743.

CARVALHO, G. G. P. DE; PIRES, A. J. V. ; GARCIA, R. ; VELOSO, C. M. ; SILVA, R. R.; MENDES, F. B. L. ; PINHEIRO, A. A. ; SOUZA, D. R. **In situ degradability of dry matter, crude protein and fibrous fraction of concentrate and agroindustrial by-products.** *Ciência Anim. Bras.*, 10 (3): 689-697, 2009

DEGÁSPARI, C.H.; WASZCZYNSKYJ, N. **Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos.** *Visão Acadêmica*, v.1, n.5, p. 33-40, 2004.

GALVÃO, L.P.F.C. 2007. **Avaliação termoanalítica da eficiência de antioxidantes na estabilidade oxidativa do biodiesel de mamona.** Dissertação (Mestrado em Química) Programa de PósGraduação em Química, UFRN, Natal, 159p.

GIRANDA, R. do N. **Aspectos qualitativos de cafés submetidos a diferentes processos de secagem.** Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, 1998.

GHEBREMICHAEL, K. A ; GUNARATNA, K.R; HENRIKSSON, H.; BRUMER, H.; DALHAMMAR, G. **A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed.** *Water Research*, n.39, p. 2338-2344, 2005.

KNOTHE, G. **Dependence of Biodiesel Fuel Properties on the Structure of Fatty Acid Alkyl Esters.** *Fuel Processing Technology*, 86, 1059-1070, 2005.

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.

LEONE, A., SPADA, A., BATTEZZATI, A., SCHIRALDI, A., ARISTIL, J., BERTOLI, S., 2016. ***Moringa oleifera* seeds and oil: characteristics and uses for human health.** *Int. J. Mol. Sci.* 17, 2141.

- LÉDO, P. G. S.; LIMA, R. F. S.; PAULO, J. B. A. **Efficiency of aluminium sulfate and Moringa oleífera seeds as coagulants for the clarification of water.** Land Contamination & Reclamation, v.18, n.1, 2010.
- LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos.** 4.ed. São Paulo, p.1020, 2008.
- MALLÉGOL, J.; LEMAIRE, J.; GARDETTE, J. L. **Drier Influence in the curing of linseedoil.** Progress in Organic Coatings, London, v.2, n. 39, p. 107-113, 2000.
- MARQUES, E. R. et al. **Eficácia do teste de acidez graxa na avaliação da qualidade do café arábica (Coffea arábica L.) submetido a diferentes períodos e temperaturas de secagem.** Ciência Agrotecnologia, Lavras v. 32, n.5, p.1557-1562, 2008.
- MBIKAY, M. **Therapeutic potential of Moringa oleifera leaves in chronic hyperglycemia and dyslipidemia: A review.** Front. Pharmacol. v. 24, p. 1-12, 2012.
- MORTON, J. F. **The horsedish tree. Moringa pterygosperma (moringaceae): a boom to arid lands.** Economic Botany, Ypsilanti, v. 45, n. 3, p.318-333, 1991.
- NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S. **Quality water treated by coagulation using Moringa oleífera seeds.** Wat. Res., v.32, n.3, 1998.
- NGUYEN, H.N., PAG-ASA, D.G., MARIDABLE, J.B., MALALUAN, R.M., HINODE, H., SALIM, C., HUYNH, H.K.P., 2011. **Extraction of oil from Moringa oleifera kernels using supercritical carbon dioxide with ethanol for pretreatment: optimization of the extraction process.** Chem. Eng. Process.: Process Intensification 50, 1207–1213.
- NOGALA-KALUCKA, M., KORCZAK, J., DRATWIA, M., LAMPSTRZCZAPA, E., SIGER, A. e BUCHOWSKI, M. **Changes in antioxidant activity and free radical scavenging potential of rosemary extract and tocopherols in isolated rapeseed oil triacylglycerols during accelerated tests.** Food Chemistry, v.93, p. 227-235, 2005.
- PRITCHARD, M.; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSON, A. S.; O'NEILL, J. G. **A comparison between Moringa oleífera and chemical coagulants in the purification of drinking water: An alternative sustainable solution for developing countries.** Physics and Chemistry of the Earth, n. 35, p.798-805, 2010.
- 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.
- RAMOS, I. N.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. **Integrated approach on solar drying, pilot convective drying and microstructural changes.** Journal of Food Engineering, v. 67, n. 1, p. 195-203, 2005.
- RASHID, U.; ANWAR, F.; MOSER, B. R.; KNOTHE, G. **Moringa oleífera oil: a possible source of biodiesel.** Bioresource Technology, n. 99, p. 8175-8179, 2008.
- RAZAVI, S. M. A.; EMADZADEH, B.; RAFE, A.; AMINI, A. M. **The physical properties of pistachio nut and kernel as a function of moisture content and variety: Part I. Geometrical properties.** Journal of Food Engineering, v. 81, n. 1, p. 209-217, 2007a.
- RAZAVI, S. M. A.; RAFE, A.; MOHAMMADI MOGHADDAM, T.; AMINI, A. M. **The physical properties of pistachio nut and kernel as a function of moisture content and**

variety: Part II. Gravimetric properties. *Journal of Food Engineering*, v. 81, n. 1, p. 218-225, 2007b.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; CECON, P. R. **Forma, tamanho e contração volumétrica do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem.** *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 7, n. 1, p. 15-24, 2005.

RIBEIRO, D. M.; CORRÊA, P. C.; RODRIGUES, D. H.; GONELI, A. L. D. **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.

SÁNCHEZ-MACHADO, D. I.; NÚÑEZ-GASTÉLUM, J. A.; REYES-MORENO, C.; RAMÍREZ-WONG, B.; LÓPEZ-CERVANTES, J. **Nutritional Quality of Edible Parts of *Moringa oleífera*.** *Food Anal. Methods*, n.3, p.175-180, 2010.

SAMPAIO, C.B. **Consumo, digestibilidade e dinâmica ruminal em bovinos alimentados com forragem tropical de baixa qualidade suplementados com compostos nitrogenados.** 2007. 53f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SANTANA, C. R.; PEREIRA, D. F.; ARAÚJO, N. A.; CAVALCANTI, B.; SILVA, G. F. **Caracterização físico-química da moringa.** *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.12, n.1, p.55-60, 2010.