



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS**

ATACY MACIEL DE MELO CAVALCANTE

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIOXIDANTE DA FARINHA DOS GRÃOS DE
ALGAROBA EM HAMBÚRGUER BOVINO**

CAMPINA GRANDE–PB

2020

ATACY MACIEL DE MELO CAVALCANTE

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIOXIDANTE DA FARINHA DOS GRÃOS DE
ALGAROBA EM HAMBÚRGUER BOVINO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor(a) em Engenharia de Processos.

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos

Orientador: Prof^o. Dr. Osvaldo Soares da Silva

CAMPINA GRANDE–PB

2020

C376a

Cavalcante, Atacy Maciel de Melo.

Avaliação do potencial antioxidante da farinha dos grãos de algaroba em hambúrguer bovino / Atacy Maciel de Melo Cavalcante. – Campina Grande, 2020.

104 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2020.

"Orientação: Prof. Dr. Osvaldo Soares da Silva".

Referências.

1. Algaroba (*Prosopis Juliflora Sw. DC*). 2. Desenvolvimento de Processos - Engenharia. 3. Armazenamento. 4. Cinética de Secagem. 5. Produto Reestruturado. 6. Oxidação. I. Silva, Osvaldo Soares da. II. Título.

CDU 620.11:633.875(043)

ATACY MACIEL DE MELO CAVALCANTE

Orientador: Profº. Dr. Osvaldo Soares da Silva

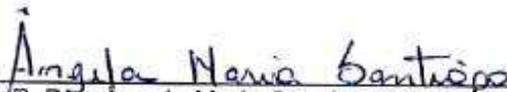
**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIOXIDANTE DA FARINHA DOS GRÃOS DE
ALGAROBA EM HAMBÚRGUER BOVINO**

Tese aprovada em 18/02/2020

BANCA EXAMINADORA:



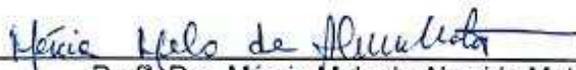
/Profº. Dr. Osvaldo Soares da Silva
(Orientador - UAEALI /UFCG)



Profº. Dra. Angela Maria Cavalcanti Ramalho
(Examinadora Externa – DQI/UEPB)



Dra. Hofsky Vieira Alexandre
(Examinadora Externa – PNDP/LAPPA/UFCG)



Profº. Dra. Mércia Melo de Almeida Mota
(Examinadora externa – UAEALI /UFCG)



Profº. Dr. Raimundo Bernadino Filho
(Examinador Externo – UAG/UFRPE)

CAMPINA GRANDE–PB

2020

Aos meus amados pais, filhos (João e Maria) e marido,
Pela rede de apoio constante e intensa,
Com todo meu amor e gratidão,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por tudo que me foi oportunizado nesses anos de academia, em especial durante esses quatro anos e seis meses de doutorado, onde enfrentei dias de muitas provações, desencontros e portas fechadas pelo próprio sistema. Hoje guardo boas lembranças de superação e aprendizado! Eterna gratidão!

À minha mãe, Ana Paula, e ao meu pai, Fábio, pela rede de apoio constante e incansável, por todo amor, doação, renúncia e ensinamentos que sempre me incentivaram a sonhar e concretizar. Também pela ajuda física e emocional ao longo desses incansáveis anos de graduação, mestrado e doutorado. Meu amor em forma de agradecimento aos dois, até o nosso sempre!

Aos meus filhos, João e Maria, que mesmo com pouca idade (7 e 4 anos) participaram colaborativamente na construção desta tese. Sei que um dia vocês irão ler este breve parágrafo e sorrir de felicidade, assim como estão aqui sorrindo ao me ouvir lê-lo para vocês, e sentir esse amor que transborda em mim neste momento ao saber que valeu a pena trocar por muitas vezes os nossos programas em família pelas noites incansáveis no laboratório, “acampamento” dentro carro para enfrentar as viagens de PE/JP/CG e tantas outras aventuras para “ajudar a mamãe a ser dôtora”. Com vocês e por vocês, sempre! Vocês são a representação física do amor de Deus em minha vida. Amo vocês incondicionalmente!

Agradeço também ao meu esposo, João Hélio, pelo total apoio, carinho, dedicação, ajuda, incentivo e compreensão durante esta etapa tão importante da minha vida profissional. Gratidão pelos incansáveis dias de mãe e de pai para me ver chegar até aqui. Vencemos!

A minha irmã, Anely Maciel, que viabilizou análises e parcerias tão importantes durante o desenvolver deste trabalho. Muito obrigada nega!

Aos amigos que ganhei durante os quatro anos e meio de curso, Ana Raquel, Michely Almeida e Joselito Bastos, gratidão por tudo meus amores!

A Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) pela oportunidade e ensinamentos durante todos esses anos de curso. Agradeço aos coordenadores, professores, secretárias e a todas as pessoas que compõem direta ou indiretamente o Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos pelo apoio, compreensão, parceria e troca de conhecimento.

Ao meu orientador, Prof^o. Dr. Osvaldo Soares, pelo excelente exemplo de profissional e principalmente de ser humano, que sem dúvidas levarei como exemplo de vida! Obrigada pelo dom de ensinar muito mais do que ciência, poucos são os doutores que entendem e exercitam essa virtude. Gratidão pela confiança, ensinamentos, orientação e disponibilidade constante. Serei eternamente grata por ter sido escolhida para ser a sua orientanda, tendo a oportunidade de aprender ao lado de um professor humano e corroborativo.

Agradeço a todos da banca pelas contribuições técnicas necessárias para a concretização deste trabalho. A prof^a. Dra. Mércia Melo pela disponibilidade e contribuições, prof^a. Dra. Ângela Maria por me acompanhar desde a disciplina de seminários I com as devidas considerações técnicas e por se colocar sempre a disposição no desenvolver das minhas atividades. A Dra. Hofsky Vieira que foi um presente que eu ganhei do doutorado. Sempre muito prestativa, atenciosa e colaborativa desde o início do experimento. Um exemplo de profissional e de mulher que levanta outras mulheres. Muito obrigada por tudo Sckaymen! Agradeço também ao meu amigo, Prof^o. Dr. Raimundo Bernadino, pela parceria e cumplicidade durante os anos de mestrado, doutorado e pela participação técnica e emocional para com a conclusão deste estudo. Admiro-te como ser humano e profissional, muito obrigada meu amigo!

Ao Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) pela licença concedida na reta final do meu doutorado e apoio disponibilizado pelas direções a coordenações. Agradeço em especial ao *Campus* Barreiros, pela colaboração e parceria durante a realização das minhas atividades laboratoriais. Agradeço também a toda equipe que compõe o Curso Técnico de Alimentos do *Campus* Barreiros, em especial a Prof^a. Dra. Amanda Reges, Prof^a. Dra. Déborah Amaral, ao técnico do laboratório de bromatologia Dr. Tonny Cley e aos alunos bolsistas e voluntários, que não citarei

nomes porque foram muitos e não quero correr o risco de ser injusta com ninguém. Vocês foram fundamentais no processo de conclusão das minhas análises. Gratidão a todos pela rede de apoio e ajuda.

A Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e Universidade Federal do Paraná (UFPR) pela parceria e colaboração no desenvolver das minhas atividades.

Agradeço a todos que de alguma forma tenham contribuído para a realização deste trabalho: professores, técnicos, alunos, bolsistas, voluntários e amigos que conheci pelo caminho e que foram tão importantes nesse processo de construção. Em cada dificuldade, uma mão amiga! Minha eterna Gratidão a todos!

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ABTS** - Determinação da capacidade antioxidante de sequestro de radicais
- AE** - Atividade Emulsificante
- AOAC** - Official Methods of Analysis
- CAA** - Capacidade de Absorção de Água
- CAO** - Capacidade de Absorção de Óleo
- CFT** – Compostos Fenólicos Totais
- DIC** - Delineamento experimental Inteiramente Casualizado
- DNPH** - 2,4 dinitrofenilhidrazina / sigla utilizada para indicar oxidação proteica
- DPPH** - 2,2-difenil-1-picrilidrazil
- EPM** – Erro Padrão da Média
- FGA** - Farinhas dos Grãos da Algaroba
- FRAP** - Poder antioxidante de redução do ferro
- IAL** – Instituto Adolfo Lutz
- MEV** - Microscópio Eletrônico de Varredura
- PE** - Percentual de Encolhimento
- PPC** - Perda de Peso por Cozimento
- pH** – Potencial Hidrogeniônico
- RVA** - Rapid Visco Analyser
- SAS** - Statistical Analysis System Institute
- TBARS** - Substâncias Reativas ao Ácido Tiobarbitúrico
- TPA** - *Texture Profile Analysis*
- VET** - Valor Energético Total
- BPF** - Boas Práticas de Fabricação

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Grãos da algaroba após o processo de secagem.....	11
Figura 2.	Moinho de sementes.....	12
Figura 3.	Representação da coloração das farinhas.....	21
Figura 4.	Micrografias das farinhas dos grãos de algaroba obtidas em diferentes temperaturas de secagem (50°C, 60°C e 70°C). (A) aumento de 1000x, (B) aumento de 1500x e (C) aumento de 2000x.....	22
Figura 5.	Representação da viscosidade nas diferentes temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C) e em diferentes tempos. T ₁ – farinha obtida a partir da secagem a 50°C; T ₂ – farinha obtida a partir da secagem a 60°C e T ₃ – farinha obtida a partir da secagem a 70°C...	28
Figura 6.	Fluxograma de processamento dos hambúrgueres.....	48
Figura 7.	Descanso refrigerado da massa cárnea.....	49
Figura 8.	Representação das embalagens dos hambúrgueres.....	49
Figura 9.	Armazenamento dos hambúrgueres.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização das sementes da algaroba <i>in natura</i>	17
Tabela 2. Caracterização física e físico-química das farinhas dos grãos da algaroba nas diferentes temperaturas de secagem.....	19
Tabela 3. Análise granulométrica das Farinhas dos Grãos da Algaroba (FGA) obtidas em diferentes temperaturas de secagem.....	24
Tabela 4. Propriedades funcionais e tecnológicas das farinhas dos grãos da algaroba obtidas em diferentes temperaturas de secagem.....	25
Tabela 5. Atividade antioxidante e compostos fenólicos totais (CFT) das farinhas dos grãos da algaroba obtidas por diferentes métodos.....	30
Tabela 6. Constituintes dos compostos fenólicos das farinhas dos grãos da algaroba obtidas a partir de diferentes temperaturas de secagem.....	32
Tabela 7. Formulação dos hambúrgueres adicionados de farinha dos grãos da algaroba (FGA).....	47
Tabela 8. Avaliação microbiológica dos hambúrgueres adicionados de farinha dos grãos da algaroba (FGA).....	54
Tabela 9. Constituintes dos compostos fenólicos da farinha dos grãos da algaroba.....	55
Tabela 10 Resultados da interação dos percentuais de adição da farinha dos grãos de algaroba (FGA) x dias de armazenamento das análises químicas, físicas e físico-químicas dos hambúrgueres.....	56
Tabela 11. Resultado dos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos dos hambúrgueres em função da adição da farinha dos grãos da algaroba (FGA).....	61
Tabela 12. Resultado atividade de água em função dos dias de armazenamento.....	62
Tabela 13. Perfil de textura (TPA) dos hambúrgueres em função da interação adição de farinha dos grãos de algaroba (FGA) e tempo de	

armazenamento..... 64

Tabela 14. Perfil de textura dos hambúrgueres elaborados com diferentes percentuais de adição de farinha dos grãos de algaroba (FGA) em função do tempo de armazenamento..... 66

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVOS	3
2.1.	Geral.....	3
2.2.	Específicos.....	3
3.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
Cap. 1	OBTENÇÃO E AVALIAÇÃO DA FARINHA DOS GRÃOS DE ALGAROBA (FGA): FONTE DE COMPOSTOS BIOATIVOS COM POTENCIAL NUTRICIONAL E TECNOLÓGICO	6
	Resumo	7
	Abstract	8
1.	INTRODUÇÃO	9
2.	MATERIAL E MÉTODOS	11
2.1.	Local do experimento e obtenção das farinhas.....	11
2.2.	Caracterização físico-química das sementes e das farinhas.....	12
2.3.	Caracterização morfológica.....	12
2.4.	Granulometria.....	13
2.5.	Propriedades físicas e de qualidade.....	13
2.6.	Propriedade de pasta.....	14
2.7.	Propriedades funcionais e tecnológicas das FGA.....	14
2.8.	Obtenção dos extratos, quantificação e identificação dos compostos fenólicos.....	15
2.9.	Atividade antioxidante.....	15
2.10.	Análise estatística.....	16
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
3.1.	Caracterização físico-química das sementes e das farinhas.....	17
3.2.	Caracterização morfológica.....	21
3.3.	Granulometria.....	23
3.4.	Propriedades físicas, de qualidade, funcionais e tecnológicas.....	24
3.5.	Propriedade de pasta.....	28
3.6.	Quantificação e identificação dos compostos fenólicos e atividade antioxidante.....	30
4.	CONCLUSÕES	34
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

CAP. 2 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIOXIDANTE DA FARINHA DOS GRÃOS DA ALGAROBA NO ARMAZENAMENTO DE HAMBÚRGUER

	Resumo	42
	Abstract	43
1.	INTRODUÇÃO	45
2.	MATERIAL E MÉTODOS	47
2.1.	Matéria-prima.....	47
2.2.	Desenvolvimento dos hambúrgueres.....	47
2.3.	Análise Microbiológica.....	49
2.4.	Constituintes dos compostos fenólicos.....	50
2.5.	Estudo do armazenamento do produto.....	50
2.5.1.	Caracterização física, química e físico-química.....	51
2.6.	Análise estatística.....	53
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
3.1.	Análise Microbiológica.....	55
3.2.	Constituintes dos compostos fenólicos.....	54
3.3.	Estudos do armazenamento dos hambúrgueres: análises físicas, química e físico-química.....	55
4.	CONCLUSÕES	67
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
	CONCLUSÕES	74
	ANEXOS	75
	ANEXO 1. Evaluation of the Antioxidant Potential of Mesquite Grains Flour in Hamburger Meat Product.....	76
	ANEXO 2. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos da algaroba.....	90

RESUMO: Objetivou-se obter uma farinha oriunda das sementes da algaroba (*Prosopis juliflora Sw. DC*) através de uma secagem convectiva nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, escolher a farinha com as melhores características para aplicação em hambúrguer e avaliar o potencial antioxidante utilizada em diferentes concentrações (0, 2, 4 e 6%) no produto durante o armazenamento por 60 dias. As sementes *in natura* e as farinhas foram caracterizadas quanto aos aspectos químicos, físicos, físico-químicos, morfológicos e funcionais e foi escolhida a farinha com melhor perfil para ser utilizada nas formulações dos hambúrgueres. A atividade antioxidante das farinhas foi determinada pelos métodos de DPPH, FRAP, ABTS e os compostos fenólicos totais (CFT) foram identificados por cromatografia líquida. A carne bovina foi utilizada como base para a determinação das porcentagens dos demais ingredientes adicionados à massa. Foi realizada a avaliação das características físicas, químicas e físico-químicas durante os 60 dias de armazenamento. Os hambúrgueres foram submetidos à avaliação periódica a cada 30 dias (0, 30 e 60) para avaliar o comportamento, a estabilidade e a oxidação lipídica e proteica dos hambúrgueres ao longo do armazenamento e a influência da adição da farinha no tempo de vida útil dos produtos. A semente da algaroba apresentou bons percentuais de proteína, lipídeos e de fibra alimentar. Na caracterização das farinhas, com exceção das cinzas, todas as outras variáveis apresentaram efeito significativo ($P < 0,05$) para as diferentes condições de secagem. O pico de viscosidade máxima foi observado nas farinhas obtidas a 50 e 60°C, com evidencia as imagens obtidas na micrografia. A atividade antioxidante e os CFT apresentaram efeito significativo ($P < 0,05$) com relação à temperatura de secagem. Os resultados da atividade antioxidante obtidos pelos métodos DPPH, FRAP, ABTS e os CFT apresentaram os melhores valores na temperatura de 60 °C. Alguns compostos fenólicos apresentaram diferença estatística com o aumento da temperatura de secagem. A FGA obtida com os grãos desidratados a 60°C apresentou as melhores condições físicas, físico-químicas e tecnológicas para a utilização em hambúrguer. As análises de proteína, lipídeos, carboidratos, VET, pH, oxidação lipídica, oxidação proteica, L*, a* e b* apresentaram efeito significativo ($P < 0,05$) para a interação adição de FGA x armazenamento. No armazenamento de 30 dias foram observados os melhores comportamentos das variáveis avaliadas. As concentrações adicionadas de FGA não foram eficientes para retardar as oxidações lipídicas e proteicas durante o armazenamento por 60 dias dos hambúrgueres, apresentando valores superiores aos obtidos para a formulação com 0% de adição.

Palavras chave: armazenamento, cinética de secagem, produto reestruturado, oxidação, *Prosopis juliflora Sw. DC*, semente.

ABSTRACT: The objective was to obtain a flour from the mesquite (*Prosopis juliflora* Sw. DC) seeds through a convective drying at temperatures of 50, 60 and 70 ° C, choose the flour with the best characteristics for application in hamburgers and evaluate the antioxidant potential used in different concentrations (0, 2, 4 and 6%) in the product during storage for 60 days. In natura seeds and flours were characterized in terms of chemical, physical, physical-chemical, morphological and functional aspects and the flour with the best profile was chosen to be used in hamburger formulations. The antioxidant activity of the flours was determined by the methods of DPPH, FRAP, ABTS and the total phenolic compounds (TPC) were identified by liquid chromatography. Beef was used as a basis for determining the percentages of the other ingredients added to the dough. The physical, chemical and physical-chemical characteristics were evaluated during the 60 days of storage. The hamburgers were subjected to periodic evaluation every 30 days (0, 30 and 60) to evaluate the hamburgers' behavior, stability and lipid and protein oxidation during storage and the influence of the addition of flour over the shelf life of the hamburgers. products. The mesquite seed showed good percentages of protein, lipids and dietary fiber. In the characterization of flours, with the exception of ash, all other variables showed a significant effect ($P < 0.05$) for the different drying conditions. The peak of maximum viscosity was observed in the flours obtained at 50 and 60 ° C, with evidence in the images obtained in the micrograph. The antioxidant activity and CFT showed a significant effect ($P < 0.05$) in relation to the drying temperature. The results of the antioxidant activity obtained by the DPPH, FRAP, ABTS and CFT methods showed the best values at a temperature of 60 °C. Some phenolic compounds showed a statistical difference with increasing drying temperature. The FGA obtained with the dehydrated grains at 60°C presented the best physical, physical-chemical and technological conditions for use in hamburgers. The analyzes of protein, lipids, carbohydrates, VET, pH, lipid oxidation, protein oxidation, L *, a * and b * showed a significant effect ($P < 0.05$) for the interaction between FGA and storage. In the 30-day storage, the best behaviors of the evaluated variables were observed. The added concentrations of FGA were not efficient to delay the lipid and protein oxidations during the storage for 60 days of the hamburgers, presenting values higher than those obtained for the formulation with 0% addition.

Keywords: storage, drying kinetics, restructured product, *Prosopis juliflora* Sw. DC, seed.

1. INTRODUÇÃO

A algarobeira (*Prosopis juliflora Sw. DC*), é uma das raras espécies com capacidade peculiar de resistir ao fenômeno periódico da seca enfrentada na região do semiárido do Nordeste Brasileiro, servindo de suporte para alimentação animal e com alto potencial de utilização na alimentação humana devido à qualidade nutricional de suas vagens (SILVA et al., 2003). É uma espécie que possui no endosperma da sua semente o polissacarídeo galactomanano (SOUZA FILHO et al., 2013).

A grande importância dessa leguminosa se dá nas vagens palatáveis aromáticas, lembrando baunilha e doces em função do elevado teor de sacarose. O altíssimo teor de açúcares fermentescíveis associado aos altos níveis de nitrogênio favorece os processos de biotransformação no caldo doce extraído de suas vagens, viabilizando os processos tecnológicos de produção de bebidas fermento destiladas e utilização em formulações alimentícias. Sua proteína é de qualidade e digestibilidade razoáveis equiparando-se às da cevada e do milho (SILVA et al., 2012).

As principais formas de utilização da algaroba nas regiões áridas e semiáridas do Nordeste são voltadas para alimentação animal através da inserção das suas vagens, *in natura* ou processada sob a forma de farinha, em ração e preparados proteicos (SILVA et al., 2012). Na literatura, há registros de avaliação do potencial antioxidante das folhas e cascas da algaroba (RUTO et al., 2018), da utilização da polpa da algaroba na produção de farinha para uso em produtos panificáveis (GUSMÃO et al., 2018), aguardente (SILVA, 2009) e algarobina (GRADOS; CRUZ, 1996). Com as sementes/grãos, um estudo avaliou a aplicação em revestimento comestível (MOURA NETO, 2016).

A utilização das sementes/grãos para a obtenção de farinha é uma opção que viabiliza o consumo desse resíduo na dieta humana, seja como acompanhamento em alguns alimentos (leite, iogurte, mingau, etc) ou como ingrediente em formulações de produtos panificáveis, produtos cárneos reestruturados (hambúrguer, empanados, almôndegas), etc.

A utilização da FGA em hambúrguer pode ser uma possível alternativa para o aproveitamento de um resíduo de um fruto com excelentes características nutricionais e com um potencial tecnológico subutilizado em um produto de boa aceitação sensorial,

fácil obtenção, com baixo custo operacional e sem a necessidade de mão de obra especializada, perfil de produção ideal para uma fabricação artesanal ou uma pequena agroindústria, realidade comum na região do Semiárido.

Os produtos cárneos podem se deteriorar rapidamente devido aos processos oxidativos e ao crescimento microbiano no decurso da cadeia produtiva (KRISHNAN et al., 2014). Os antioxidantes sintéticos podem inibir ou minimizar a oxidação lipídica, porém sua utilização é limitada a determinadas quantidades, ademais, estes aditivos foram identificados como agentes toxicológicos e/ou cancerígenos e, ainda, estão associados a problemas como rinite, cefaleia, alergias, asma e diaforese (LORENZO et al., 2014; KRISHNAN et al., 2014 e KUMAR et al., 2015). Já os antioxidantes naturais também podem agir como agentes antimicrobianos, realçadores de sabor e, conseqüentemente, são capazes de preservar e melhorar a vida útil, a qualidade sensorial e nutricional da carne e dos produtos cárneos (KARRE; LOPEZ; GETTY, 2013; HYGREEVA; PANDEY; RADHAKRISHNA, 2014; SHAH; DON BOSCO; MIR, 2014) e, assim, satisfazer a expectativa do consumidor, que não deseja alterações de cor, sabor e aroma, quando comparados aos convencionais (BAGNARA, 2015).

Sendo assim, a obtenção de uma farinha oriunda dos grãos da algaroba para utilização em hambúrguer bovino com diferentes percentuais de adição desta farinha e a avaliação da sua capacidade antioxidante durante o armazenamento refrigerado dos hambúrgueres, visa à elaboração de um produto cárneo com valor agregado, adicionado de fibras e isento de aditivos sintéticos.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Avaliar o potencial antioxidante da farinha dos grãos da algaroba quando incorporada na formulação de hambúrguer bovino.

2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar a semente de algaroba (*Prosopis juliflora Sw. DC*) *in natura* quanto aos parâmetros físicos e físico-químicos e submeter a uma cinética de secagem em diferentes temperaturas (50, 60 e 70°C) para obtenção de farinha;
- Avaliar as farinhas dos grãos da algaroba quanto aos parâmetros físicos, físico-químicos, morfológicos e propriedades funcionais;
- Determinar a atividade antioxidante das farinhas;
- Selecionar a farinha com melhor perfil para aplicação em produto cárneo mediante os resultados das características físicas, físico-químicas e morfológicas;
- Desenvolver formulações de hambúrguer com diferentes percentuais de adição da farinha e submete-los à caracterização química, física, físico-química, microbiológica e avaliar os parâmetros de qualidade tecnológica;
- Realizar uma análise sensorial dos hambúrgueres e selecionar a amostra com o melhor perfil de aceitação;
- Submeter as amostras ao armazenamento refrigerado de 60 dias avaliando os parâmetros físicos, químico, físico-químicos e qualidade tecnológica;
- Avaliar o potencial antioxidante da farinha no hambúrguer a partir da oxidação lipídica e proteica durante o armazenamento refrigerado.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAGNARA, F. **Revista Nacional da Carne**, São Paulo, n. 457, p. 50-55, 2015.

GUSMÃO, R. P.; GUSMÃO, T. A.S.; MOURA, H. V.; DUARTE, M. E. M e CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M. Caracterização tecnológica de *cookies* produzidos com diferentes concentrações de farinha de algaroba durante armazenamento por 120 dias. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 21, p. 1-9, 2018.

GRADOS, N.Y.G; CRUZ. **La Algarroba: Perspectivas de Utilización Industrial**. Serie de Química. Universidad de Piura, Peru, 2: 22f. Série de Química. 1996.

HYGREEVA, D.; PANDEY, M. C.; RADHAKRISHNA, K. Potential applications of plant based derivatives as fat replacers, antioxidants and antimicrobials in fresh and processed meat products. **Meat Science**, v. 98, n. 1, p. 47-57, 2014.

KARRE, L.; LOPEZ, K.; GETTY, K. J. K. Natural antioxidants in meat and poultry products. **Meat Science**, v. 94, n. 2, p. 220–227, 2013.

KRISHNAN, K. R. et al. Bio protection and preservation of raw beef meat using pungent aromatic plant substances. **Journal of the Science of Food and agriculture**, v. 94, n. 12, p. 2456-2463, 2014.

KUMAR, Y. et al. Recent trends in the use of natural antioxidants for meat and meat products. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, n. 6, p. 796-812, 2015.

LORENZO, J. M. et al. Influence of natural extracts on the shelf life of modified atmosphere-packaged pork patties. **Meat Science**, v. 96, n. 1, p. 526-534, 2014.

MOURA NETO, L.G. **Preparação e aplicação de revestimento comestível em laranjas cv. valencia delta à partir de galactomanano de sementes de algaroba (*Prosopis juliflora* (sw) D.C.)**. 2016. 86f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Rede Nordeste de Biotecnologia (RENORBIO). Universidade Federal do Ceará-CE. 2016.

RUTO MC, NGUGI CM, KARERU PG, CHERUYOT K, RECHAB SO, MADIVOLI ES, MUTEMBEI JK, KAIRIGO PK, MAUNA EG. Antioxidant activity and antimicrobial properties of *Entada leptostachya* and *Prosopis juliflora* extracts. **Journal of Medicinal Plants for Economic Development**, v.2, p.1-8, 2018.

SHAH, A. M.; DON BOSCO, S. J.; MIR, S. A. Plant extracts as natural antioxidants in meat and meat products. **Meat Science**, v. 98, n. 1, p. 21-33, 2014.

SILVA, L. A. da; CAVALCAMTI- MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; ALMEIDA, R. D.; CAVALCNATI, R. F. de R. M. Cinética da secagem de grãos de algaroba. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.14, n. Especial, p.535-542, 2012.

SILVA, C.G. **Otimização do processo de produção da aguardente de algaroba e aproveitamento dos resíduos sólidos em produtos alimentares**. 2009. 235f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2009.

SILVA, C. G.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; BRAGA, M. E. D. B.; QUEIROZ, V. S. Extração e fermentação do caldo de algaroba (*Proposi juliflora* (Sw.) DC) para obtenção de aguardente. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.5, n.1, p.51-56, 2003.

SOUSA FILHO, M. S. M.; NASCIMENTO, R. M.; CAVALCANTE, F. L.; ROSA, M. F.; FEITOSA, J. P. A.; MELO, E. F. CRUZ, M. R.; ALEXANDRE, L. C. **Extração e caracterização de galactomanana de vagens de algaroba (*Prosopis juliflora*)**, Comunicado Técnico, n. 209, v.1, p.1-15, 2013.

CAPÍTULO 1

**OBTENÇÃO E AVALIAÇÃO DA FARINHA DOS GRÃOS DE ALGAROBA (FGA):
FONTE DE COMPOSTOS BIOATIVOS COM POTENCIAL NUTRICIONAL E
TECNOLÓGICO**

**OBTAINING AND EVALUATING THE MESQUITE GRAIN FLOUR (MGF): SOURCE
OF BIOACTIVE COMPOUNDS WITH THE NUTRITIONAL AND TECHNOLOGICAL
POTENTIAL**

OBTENÇÃO E AVALIAÇÃO DA FARINHA DOS GRÃOS DE ALGAROBA (FGA): FONTE DE COMPOSTOS BIOATIVOS COM POTENCIAL NUTRICIONAL E TECNOLÓGICO

Resumo: A algaroba é uma vagem encontrada na região do semiárido do Nordeste do Brasil, bastante utilizada para alimentação animal e com potencial para a alimentação humana. Em suas poucas aplicações como alimento obtém-se as sementes, que são resíduos promissores em formulações alimentícias devido a presença de proteínas, fibras e compostos antioxidantes. Sendo assim, objetivou-se com este trabalho a obtenção de farinhas oriundas das sementes da algaroba após o seu beneficiamento em diferentes temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C) e caracterizá-las em termos de suas propriedades físico-químicas, físicas, morfológicas, funcionais, tecnológicas e bioativas. A semente (*in natura*) e a farinha dos grãos da algaroba obtiveram altos teores de proteína (>17%) e baixos teores lipídicos. A morfologia e a análise de viscosidade indicaram a possível presença de amido, principalmente na farinha a 50°C, indicando que esta apresenta a característica tecnológica de agente espessante. Nas demais propriedades, a MGF a 60°C apresentou os melhores resultados frente à capacidade de absorção de água e óleo, atividade antioxidante e compostos fenólicos totais, cuja determinação por cromatografia identificou 17 compostos, com destaque para o kaempferol e a catequina. Portanto, os resultados encontrados confirmam o potencial das farinhas de algaroba produzidas a partir dos grãos como fontes relevantes de proteína e compostos fenólicos. O possível desenvolvimento destas farinhas, pode servir de incentivo para o cultivo e posterior exploração de uma fonte subutilizada, de baixo custo e facilmente disponível.

Palavras-chave: atividade antioxidante, compostos fenólicos, compostos bioativos, *Prosopis juliflora* Sw. DC.

OBTAINING AND EVALUATING THE MESQUITE GRAIN FLOUR (MGF): SOURCE OF BIOACTIVE COMPOUNDS WITH THE NUTRITIONAL AND TECHNOLOGICAL POTENTIAL

Abstract: The mesquite (*Prosopis juliflora*) is a pod found in the semiarid Northeast region of Brazil. It is widely used as livestock input and its by-product has potential for human food. The objective of this study was to obtain flour from mesquite seeds under different drying temperatures (50, 60, and 70°C) and classify them by their physico-chemical, physical, microstructural, technological, antioxidant, bioactive, and pasting properties. Both, the seed (*in nature*) and the seeds flour from the mesquite showed a high amount of proteins (>17%) and low fat content, but a potential source of fibers. The morphology and the viscosity analysis indicated, possibly, the presence of starch, especially in the flour under 50°C. It suggests that this flour has technological characteristics as a thickener agent. Between the mesquite grain flour (MGF), the one under 60°C presented the best results in the capacity of water and oil absorption, antioxidant activities and total phenolic compounds. 17 substances were detected by chromatography with kaempferol, catechin, and quinine being the most present. The results confirm the mesquite flour potential when produced from its grains as a relevant source of proteins and phenolic compounds. These flours development can encourage the cultivation and exploitation from a low cost and easily available underused source.

Keywords: flour, by-product, antioxidant activity, phenolic compounds, bioactive compounds, mesquite grain.

1. INTRODUÇÃO

Subprodutos oriundos dos alimentos podem trazer grandes vantagens para as indústrias alimentícias, servindo como fontes alternativas de fibra e outros compostos. Além de contribuir para o enriquecimento de produtos, ajudam a prevenir a problemática do desperdício, uma vez que o alimento processado acaba sendo utilizado integralmente para satisfazer as necessidades nutricionais básicas, promover a saúde e reduzir o risco de doença (IGLESIAS, M. J., ALEJANDRE, 2010). Além de alimentos com fontes de fibras, outras composições alimentícias com a propriedade proteica, bioativa e diversos compostos que apresentam benefícios à saúde humana, vêm sendo estudados a partir de diversas matérias-primas pouco exploradas, a fim desenvolver novos produtos.

Neste sentido, uma fonte alternativa alimentar é a algaroba (*Prosopis juliflora Sw. DC*), uma das raras espécies com capacidade peculiar de resistir ao fenômeno periódico da seca, enfrentada na região do semiárido do Nordeste brasileiro, e que serve de suporte para alimentação animal, porém, com alto potencial de utilização na alimentação humana devido à qualidade nutricional de suas vagens (SILVA et al., 2003).

Estudos vêm sendo realizados a fim de potencializar o aproveitamento integral da vagem da algaroba na alimentação humana, uma vez que a principal forma de consumo da vagem é direcionada para alimentação animal. Um dos exemplos é a elaboração da farinha da vagem da algaroba para utilização de formulação de biscoito elaborado por GUSMÃO et al., (2018). Além disso, já foram identificadas atividades antioxidante, antiomicrobiana e antimalárica (CAVALCANTE et al., 2019; RUTO et al., 2018) mostrando o potencial tecnológico que a algaroba possui devido sua riqueza de compostos bioativos. Há estudos referentes à farinha da vagem e à farinha da casca, mas ainda não há disponibilidade de informações sobre as propriedades dos grãos da algaroba (após beneficiamento das sementes) havendo apenas modelos de predição da cinética de secagem dos grãos (CAVALCANTE et al., 2020), assim, torna-se importante a exploração deste produto para a introdução na alimentação humana.

Diversas pesquisas abordam a produção de alimentos formulados, nos quais se procuram substituir, de forma total ou parcial, ingredientes como a farinha de trigo, por

exemplo, por farinhas sucedâneas (ASSIS et al., 2019; VIEIRA et al., 2015). O consumo das sementes da algaroba sob a forma de farinha é uma alternativa viável para o aproveitamento integral da vagem, tendo em vista que a obtenção da mesma requer processos tecnológicos acessíveis para o pequeno produtor, além da possibilidade de consumo mais amplo quando comparado apenas ao produto *in natura*. Com isso, a utilização desses grãos para a obtenção de farinha é uma opção que viabiliza o consumo desse subproduto na dieta humana, seja como acompanhamento em alguns alimentos (leite, iogurte, mingau, etc) ou como ingrediente em formulações de produtos panificáveis e produtos cárneos reestruturados (hambúrguer, empanados, almôndegas, etc).

Pensando no aproveitamento de um subproduto agroalimentar com potencial tecnológico e visando a introdução deste na indústria de alimentos, objetivou-se com este trabalho obter a farinha dos grãos de algaroba em diferentes temperaturas de secagem (50, 60 e 70°C), e avaliar as farinhas em relação às suas propriedades físicas, físico-químicas, morfológicas, funcionais, tecnológicas e bioativas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local do experimento e obtenção das farinhas

O trabalho foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, *Campus Barreiros*. Foi utilizada a variedade da algaroba *Prosopis juliflora Sw. DC* obtida na cidade de Afogados da Ingazeira/PE. As sementes utilizadas para a elaboração da farinha foram obtidas por meio de despulpamento e diferença de densidade e foram caracterizadas em triplicatas quanto às análises físicas, químicas e físico-químicas.

As sementes foram submetidas a uma secagem convectiva em estufa com circulação forçada de ar (TECNAL, te 394/3 MP, São Paulo, Brasil), com velocidade do ar de secagem em torno de 1 m s^{-1} , nas temperaturas de 50, 60 e 70°C até a massa constante.

Após o processo de secagem, os grãos da algaroba (Figura 1) foram submetidos à moagem em um moinho de sementes (TECNAL, TE-044-8/50) (Figura 2) para a obtenção das farinhas.

Figura 1: Grãos da algaroba após o processo de secagem



Fonte: o autor (2020)

Figura 2: Moinho de sementes



Fonte: o autor (2020)

2.2. Caracterização físico-química das sementes e das farinhas

Para determinação da umidade (estufa a 105 °C), cinzas (incineração em mufla a 550 ° C), proteína (método de Kjeldahl), lipídeos (Soxhlet) e pH, utilizou-se a metodologia do IAL (2008). Os carboidratos foram obtidos por diferença e a fibra alimentar pelo método gravimétrico não-enzimático de Li & Cardozo (1994) com adaptações de Guerra et al., (2004). Os açúcares totais e redutores foram determinados pelo método de Lane-Eynon segundo IAL (2008) e os não redutores foram obtidos por diferença. Para avaliação da cor utilizou-se um colorímetro Miniscan Hunterlab EZ Marca Braseq, modelo 4500L, por meio do sistema CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) L^* , a^* e b^* . Os resultados foram expressos como L^* (luminosidade de preto para branco: 0 a 100), $+a^*$ (vermelho), $+b^*$ (amarelo). A análise foi realizada conforme metodologia descrita por Khan et al. (2011).

2.3. Caracterização morfológica

A avaliação morfológica das FGA foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) através de um microscópio Tescan Vega 3 (Kohoutovice, República Tcheca). As amostras foram espalhadas em suportes de cobre com fita adesiva dupla-face e cobertas com revestimento de ouro. As micrografias foram obtidas em ampliações de 1000, 1500 e 2000 vezes, com uma aceleração de 15 kV sob baixo vácuo.

2.4. Granulometria

A granulometria foi realizada em um conjunto de peneiras vibratórias, padrão ABNT, com as peneiras de 20, 28, 35 60, 80 e 100 *Mesh Tyler* e suas respectivas aberturas de malhas 0,850, 0,600, 0,425, 0,250, 0,180 e 0,150 mm, utilizando um tamisador vibratório eletromagnético (BERTEL®, Caieiras, SP, BR) por 15 minutos de agitação, conforme MARTINO et al. (2012).

2.5. Propriedades físicas e de qualidade

A higroscopicidade foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Cai & Corke (2000).

A densidade real foi btida a partir da relação entre a massa e o volume da amostra (FGA) conforme metodologia seguida por Souza (2010) e determinada pela Equação 3.

$$Densidade\ real = \frac{massa\ (g)}{(V1-V2)\ (cm3)} \quad (Equação\ 3)$$

A densidade aparente foi obtida utilizando a metodologia de Souza (2010) e o cálculo esá descrito na Equação 4.

$$\rho_{ap} = \frac{massa\ (g)}{volume\ ocupado\ (cm3)} \quad (Equação\ 4)$$

A porosidade intragranular (ε) foi determinada segundo a metodologia descrita pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2009), segundo a Equação 5.

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{ap}\left(\frac{g}{cm3}\right)}{\rho_{real}\left(\frac{g}{cm3}\right)} \quad (Equação\ 5)$$

Onde: ρ_{ap} (densidade aparente da FGA) e ρ_{real} (densidade real da FGA)

2.6. Propriedade de pasta

O comportamento de pasta dos amidos foi verificado por meio do Rapid Visco Analyser (Perten, RVA 4500, Huddinge, Suécia) utilizando-se o *software Thermocline for Windows*, versão 2.3 (Jessup, USA). O método aplicado seguiu a International Association for Cereal Science and Technology (ICC, 1995), cuja análise ocorre mediante alteração de viscosidade conforme taxa térmica aplicada. As propriedades avaliadas nesta análise determinam o pico de maior viscosidade, a viscosidade de quebra, a viscosidade final de pasta, a tendência à retrogradação, o tempo necessário para atingir o pico de viscosidade e a temperatura média de pasta.

2.7. Propriedades funcionais e tecnológicas das FGA

A Capacidade de Absorção de Água (CAA) foi determinada de acordo com a metodologia utilizada por Elkhalfa and Bernhardt (2010) utilizando a Equação 6.

$$CAA = \frac{\text{Água absorvida pela amostra (g)}}{\text{Peso da amostra (g) base seca}} \quad (\text{Equação 6})$$

Para a obtenção da Atividade Emulsificante (AE) das farinhas utilizou-se a metodologia descrita por Martins et al., (2006), de acordo com a Equação 7.

$$AE = \frac{\text{Camada emulsificada (mL)} \times 100}{\text{Volume total no tubo (mL)}} \quad (\text{Equação 7})$$

A Capacidade de Absorção de Óleo (CAO) foi realizada de acordo com Elkhalfa and Bernhardt (2010) e calculada através da Equação 8.

$$CAO = \frac{\text{Óleo absorvido pela amostra (g)}}{\text{Peso da amostra (g) base seca}} \quad (\text{Equação 8})$$

2.8. Obtenção dos extratos, quantificação e identificação dos compostos fenólicos

Os extratos antioxidantes foram obtidos segundo a metodologia de Barbi et al. (2018) para a realização dos ensaios antioxidantes de 2,2-difenil-1-picrilidrazil (DPPH), análise de determinação da capacidade antioxidante de redução do ferro (FRAP), ABTS e compostos fenólicos totais.

Os compostos fenólicos das farinhas foram identificados e quantificados usando um Cromatógrafo líquido ultra eficiente da Acquity (UPLC) Classe H (Waters, Miliford, MA, EUA), dotado de detector de matriz de diodos DAD, bomba quaternária e coluna BEH C18 (2,1 mm x 50 mm x 17 µm) (Waters, Miliford, MA, EUA). A fase móvel consistiu de A (ácido fórmico a 0,1% em água ultra pura) e B (ácido fórmico a 0,1% em metanol), utilizando um fluxo de 0,35 mL min⁻¹. O gradiente de eluição aplicado foi de 0 min - 0% de B; 8 min - 20% de B; 15 min - 100% de B; 18 min - 0% de B e eluição isocrática com 0% de B a 20 min, seguindo o método descrito por Barbi et al., (2018). O conteúdo de ácidos fenólicos e flavonoides foi quantificado usando curvas de calibração externas e os resultados foram expressos em µg / g of flour sample.

2.9. Atividade antioxidante

A análise de DPPH (2,2-difenil-1-picrilidrazil) foi realizada de acordo com a metodologia de Kähkönen & Heinonen (2003) e sob o abrigo da luz, de acordo com a Equação 9. O poder antioxidante de redução do ferro (FRAP) foi realizado de acordo com o método proposto por BENZIE e STRAIN, (1996). A análise foi realizada em microplaca com amostra diluída e do reativo de FRAP. A determinação da capacidade antioxidante de sequestro de radicais (ABTS•+) foi realizada utilizando o método descrito por RE et al. (1999), com modificações. O teor de compostos fenólicos foi obtido através da metodologia descrita por Singleton et al., (1999) e comparados com a curva padrão de ácido gálico equivalente/ 100g.

$$DPPH = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \times 100 \quad (\text{Equação 9})$$

Onde: A_0 - absorvância do controle negativo e A_1 - absorvância na presença do composto amostra e Trolox.

2.10. Análise estatística

Todos os ensaios foram realizados em triplicata e os resultados submetidos à análise de variância (ANOVA), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, através do procedimento GLM (*General Linear Model*) do software SAS® (Statistical Analysis System, 2001) (Institute Inc Cary, EUA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização físico-química das sementes e das farinhas

Antes da elaboração da farinha, foram identificadas as propriedades físico-químicas das sementes da algaroba *in natura* (Tabela 1). A umidade é um importante parâmetro para sementes e grãos, principalmente para o seu armazenamento. O grão de algaroba apresentou um teor de umidade de 9.38%, similares a outros grãos como o feijão por exemplo, que possui entre 6.40 e 11.7% (KIBAR and KIBAR, 2019), variando conforme o tempo de armazenamento. O baixo teor de umidade indica que o grão de algaroba é adequado para a elaboração de farinha, além de poder ser utilizado como ingrediente em outras formulações de alimentos.

Tabela 1. Caracterização das sementes da algaroba *in natura*

Variáveis	Média ± desvio padrão
pH	5,58 ± 0,01
Umidade (%)	9,38 ± 0,20
Cinzas (%)	3,09 ± 0,12
Proteínas (%)	17,55 ± 0,44
Lipídeos (%)	1,18 ± 0,02
Carboidratos (%)	66,89 ± 0,86
Fibra alimentar (%)	1,91 ± 0,02

A semente de algaroba possui baixo teor de umidade (9,38%), indicando que a mesma é adequada para elaboração de farinha e que pode ser utilizada como ingrediente em outras formulações de alimentos. Sousa et al. (2010) observaram que a polpa da semente do jatobá possui: 10,69% de umidade, 2,34% de cinzas, 8,63% de proteína e 25,50% de lipídeos, a qual foi também considerada boa para produção de farinha, com valores de umidade superiores ao encontrado para as sementes.

O percentual de carboidrato foi de 66.89%, valores característicos aos de uma leguminosa, podendo-se equiparar a outros grãos com potencial de consumo já estabelecido no mercado, como é o caso grão de bico (FERREIRA, BRAZACA e ARTHUR, 2006), o que enaltece a necessidade de estudos voltados para o

aproveitamento deste grão para a alimentação humana. O NEPA (2011) afirma que os valores de carboidratos para grãos estão em torno 57,90%, variando de acordo com a espécie.

O teor lipídico dos grãos foi baixo, apresentando 1.18%, assim como o teor de fibras com 1.91%, havendo um comportamento inverso para o percentual de proteína, em que foi obtido 17.55%, apontando potencial como fonte de proteína. De acordo com a legislação, a designação de alto conteúdo de proteínas pode ser atribuída aos produtos contendo o mínimo de 12 g de proteína na porção descrita em embalagem (ANVISA, 2012), portanto, o grão de algaroba possui potencialidade no enriquecimento proteico, podendo garantir esta vantagem ao ser incorporado em diversos produtos.

No entanto, Choge et al., (2007) observaram que a vagem de algaroba possui uma média de 9.7% de proteína, 1.9% lipídeos e 15.7% de fibra bruta. Silva et al., (2007) também avaliaram as vagens da algaroba e observaram valores médios para proteína, lipídio, fibra bruta e açúcares totais, com 9.0, 2.1 e 56.5% respectivamente. Percebe-se que os teores de proteínas citados de estudos anteriores referente a vagem de algaroba são inferiores ao valor encontrado nos grãos (17.55%), ao contrário dos percentuais de lipídeos e fibra, que são encontrados em maior quantidade na vagem. Orsi et al. (2017) ao caracterizarem a variedade de feijões azuki (*Vigna angularis*) cultivadas na cidade de Rio Verde (Goiás) encontraram 17,87% de proteínas e 62,26% de carboidratos, valores similares aos encontrados neste estudo com a semente da algaroba. Com isso, ressalta-se a importância da perpetuação do consumo do resíduo da algaroba como fonte proteica na dieta humana.

A caracterização das farinhas obtidas dos grãos da algaroba, submetidos a diferentes temperaturas de secagem, também apontaram riqueza em nutrientes (Tabela 2). Com exceção das cinzas, todas as outras variáveis físicas, químicas e físico-químicas apresentaram efeito significativo ($P < 0.05$) nas faixas de temperatura trabalhadas.

Tabela 2. Caracterização física e físico-química das farinhas dos grãos da algaroba nas diferentes temperaturas de secagem

Variáveis	Temperaturas de secagem (°C)			EPM	Valor de <i>P</i>
	50	60	70		
pH	5,27a	5,21b	5,25ab	0,02	0,0338
Umidade (%)	4,14a	2,94b	2,11c	0,27	0,0003
Cinzas (%)	2,64	2,54	2,36	0,12	0,0756
Proteínas (%)	17,56a	16,96a	14,16b	0,29	<.0001
Lipídeos (%)	3,26a	3,32a	2,32b	0,07	<.0001
Carboidratos (%)	69,42c	70,51b	74,13a	0,42	<.0001
Fibra alimentar (%)	2,98c	3,73b	4,92a	0,01	<.0001
Cor Instrumental					
Luminosidade (L*)	67,33a	52,98b	50,93b	0,97	<.0001
Vermelho (a*)	6,02c	7,57b	9,60a	0,15	<.0001
Amarelo (b*)	25,11b	22,82c	27,05a	0,55	0,0002

Erro padrão da média=EPM; ^{a,b,c} letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% e probabilidade.

O pH é um fator de grande importância na limitação da capacidade de desenvolvimento de micro-organismos no alimento. Em função deste parâmetro, de acordo com Fellows (2006) os alimentos podem ser classificados em: pouco ácidos (pH>4,5), ácidos (4,5 a 4,0) e muito ácidos (<4,0). De acordo com esta classificação, todas as amostras de farinha analisadas foram consideradas pouco ácidas, apresentando pH superior a 4,5 e estando em consonância com os resultados obtidos por Alves (2016) para farinha do feijão preto (6,41) e feijão carioca (6,29).

Observa-se que a umidade decresceu com o aumento da temperatura, sendo, portanto, o menor valor de umidade na temperatura de 70 °C. A avaliação do teor de umidade da farinha de algaroba tem grande importância, em razão da sua influência na vida de prateleira, tendo em vista que níveis maiores que 13% podem proporcionar crescimento microbiano e deterioração em curto tempo. Dessa forma, baixos percentuais de umidade são favoráveis a uma maior estabilidade e vida-de-prateleira (CHISTÉ et al., 2006). Os valores de umidade encontrados neste estudo para as temperaturas de secagem de 60°C foram similares aos obtidos por Rosário (2019), nas mesmas condições de secagem, para as farinhas das sementes de mamão papaia (2,73%) e mamão formosa (2,88%).

Os maiores valores de proteína e lipídeos foram observados nas temperaturas de 50 (17,56% e 3,26%) e 60 °C (16,96% e 3,32%) e o menor valor na temperatura de 70°C. Observou-se um comportamento decrescente nestes resultados e inversamente proporcional a temperatura de secagem. Alves (2016) obteve valores superiores de proteínas ao analisar farinha de feijão preto (21,17%) e carioca (21,16%), obtidas a partir da secagem dos grãos a 55°C. Com relação aos lipídeos, as variedades dos feijões apresentaram teores de gordura inferiores aos obtidos na farinha dos grãos da algaroba, de 1,51% e 1,33%, respectivamente. Souza et al. (2019) trabalharam com a farinha da soja de dois cultivares aplicada em biscoito e obtiveram resultados superiores aos desse estudo para proteína (18,35 e 19,06%) e para os lipídeos (18,75 e 19,57%), estando o comportamento da proteína dentro do observado na literatura para as farinhas obtidas de leguminosas. Para aplicação em produto cárneo, o teor de proteína e lipídeo exerce influência na qualidade final do produto, configurando qualidades positivas.

Os valores dos carboidratos aumentaram em torno de 6% com a elevação da temperatura. Os percentuais encontrados na farinha dos grãos da algaroba foram superiores aos obtidos na farinha da vagem, relatados por Choge et al. (2007) (69,2 g 100g⁻¹) e semelhante ao encontrado por Gusmão (2015), de 74,50 g 100g⁻¹. Observando o comportamento das farinhas de leguminosas, Souza et al. (2019) encontraram 51,67 e 48,44% para dois cultivares de soja e Alves (2016) encontrou 60,19 e 60,63% para os feijões preto e carioca, ambos apresentaram percentuais inferiores aos registrados para nos grãos da algaroba, fato que pode ser atribuído ao comportamento da amostra ou a condição de secagem e obtenção do grão.

Para um alimento ser considerado fonte de fibra, ele deve conter, no mínimo, 3% do ingrediente, ou seja, 3g de fibra para cada 100g 100mL⁻¹ do alimento ou 2,5g de fibra por porção. Para o produto ser considerado com alto teor em fibras, o mesmo deve conter 6g de fibra para cada 100g 100mL⁻¹ do alimento ou conter 5g por porção do alimento (BRASIL, 2012). De acordo com essa classificação, as farinhas obtidas a 50 °C (2,98%) e 60 °C (3,73%) são potenciais fontes de fibra, podendo agregar valor se adicionadas a formulações de alimentos.

O parâmetro L* determinado na análise da cor instrumental representou o valor de luminosidade, que pode variar do preto (zero) ao branco (100). Verificou-se que o

valor observado para a coordenada L^* das farinhas dos grãos da algaroba apresentou baixa luminosidade com o aumento da temperatura, não apresentando diferença estatística entre as farinhas obtidas nas temperaturas de 60 e 70°C. As coordenadas a^* e b^* apresentaram altos valores com o aumento da temperatura, indicando que entre os dois o amarelo é uma cor predominante (Figura 3).

Figura 3. Representação da coloração das farinhas



Fonte: o autor (2020)

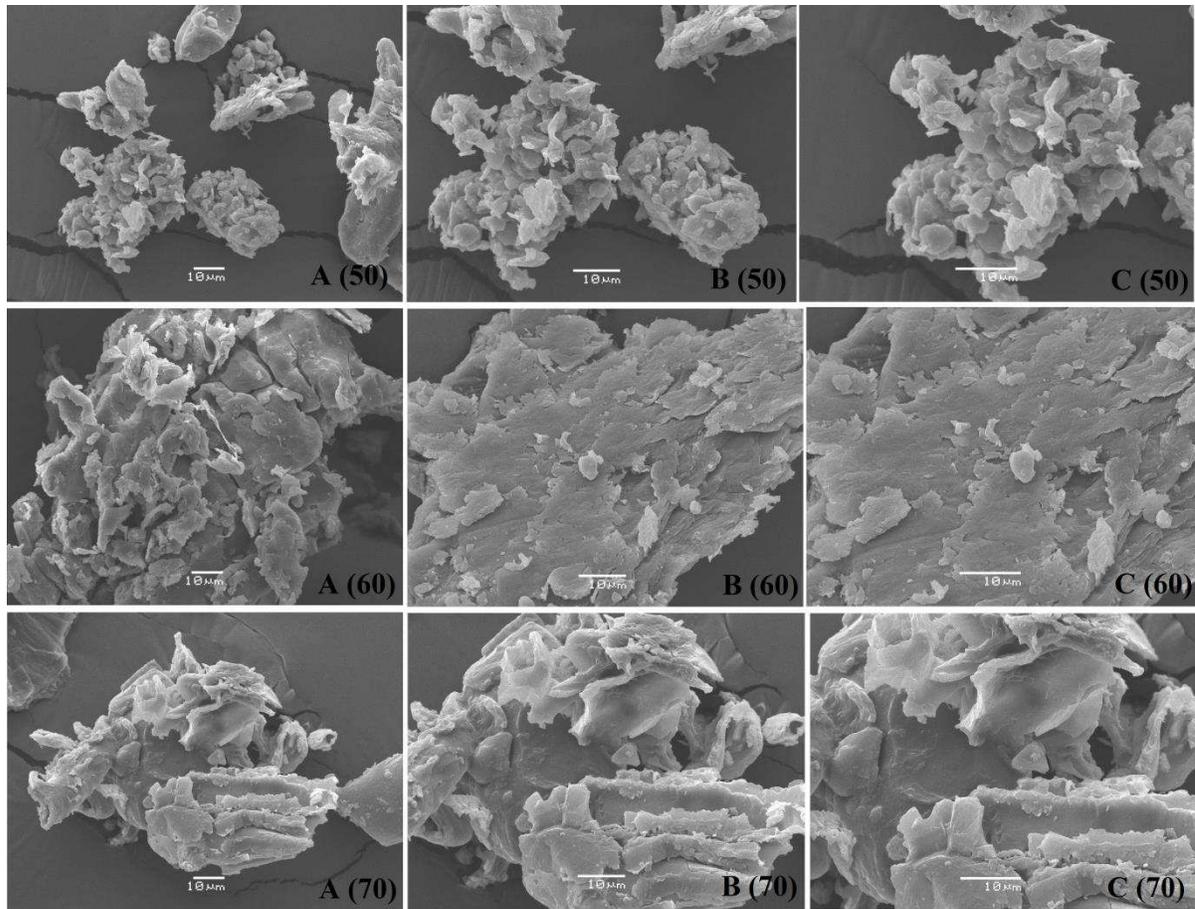
3.2. Caracterização morfológica

A microscopia é uma importante ferramenta nos estudos das características dos grânulos de amido, fornecendo informações sobre a origem dos grânulos, tamanho, diâmetro e dados referentes à sua superfície (BENINCA, 2008). A utilização das propriedades morfológicas dos grânulos de amido pode identificar sua fonte quando a matéria prima for desconhecida o que pode ser utilizado como uma ferramenta para a identificação de possíveis fraudes, como a mistura de ingredientes não permitidos em um determinado produto (BEZERRA, 2010).

Ao analisar as micrografias das farinhas dos grãos da algaroba, foi possível verificar que a microestrutura dos produtos foi alterada mediante o aumento da temperatura de secagem das sementes, conforme a Figura 4. A visualização das estruturas internas foi melhorada a partir das ampliações das imagens em 1000, 1500 e

2000 vezes, cujas leituras permitiram observar que as farinhas obtidas nas temperaturas de 50 e 60 °C apresentaram similaridade em sua morfologia.

Figura 4. Micrografias das farinhas dos grãos de algaroba obtidas em diferentes temperaturas de secagem (50°C, 60°C e 70°C). (A) aumento de 1000x, (B) aumento de 1500x e (C) aumento de 2000x.



Fonte: o autor (2020)

Na ampliação 2000x, imagem C (50), percebeu-se a presença de formatos característicos a grânulos de amido, possivelmente devido à presença de carga amilácea no interior da farinha. Já a ampliação de 2000x, imagem C (60), a estrutura apresentou um comportamento típico de uma farinha fibrosa, com depressões características e alguns grânulos poligonais, corroborando com os dados obtidos na

Tabela 2. Estrutura semelhante foi encontrada por Martins (2017) e Zavareze et al. (2015) nas ampliações dos grânulos do arroz integral.

Martins (2017) e Ai et al. (2011) ao analisarem as micrografias do sorgo branco e vermelho encontraram uma estruturas de grânulos poligonal e esférica com a presença de poros e depressões, similares as micrografias observadas neste estudo. Estas depressões presentes nos grânulos de amidos poligonais estão relacionadas à presença de corpos proteicos localizados entre os grânulos na estrutura do endosperma vítreo, sendo que os furos encontrados em alguns grânulos podem ser pelos ataques iniciais de enzimas (CLAVIER et al., 2010).

Na avaliação dos grânulos de amido extraídos de duas variedades de grão-de-bico *in natura* (aumento de 500 vezes), Simoni (2017) observou a predominância de grânulos esféricos menores e elipsoides maiores, alguns de formato irregular, porém todos com superfície lisa, evidenciando a integridade do amido. Possivelmente as características comuns das micrografias de leguminosas sejam decorrentes do seu elevado teor proteico e, no caso da FGA, da temperatura na qual o grão foi submetido para a obtenção da farinha.

Além disso, foi possível verificar uma estrutura predominante, com morfologia irregular, que pode ser resultante de fraturas das membranas de tecido vegetal, oriundas do processo de moagem, além de outros compostos como fibras e proteínas, pois as imagens mostraram estrutura típica de farinha fibrosa, depressões e alguns grânulos poligonais, principalmente nas amostras obtidas na secagem a 60 e 70°C, conforme mostrado na Tabela 2.

3.3. Granulometria

Com relação à granulometria das farinhas (Tabela 3), observou-se que houve uniformização no tamanho das partículas para as amostras analisadas, evidenciado pela retenção considerável em percentual de massa nas diferentes peneiras utilizadas. De modo geral, as farinhas apresentaram retenção em torno de 41 e 43% na peneira de 60 *Mesh* (abertura de malha de 0,250 mm), cuja leitura indica composição por partículas maiores quando comparadas com a farinha de trigo, a qual apresenta classificação pelo parâmetro de granulometria com o mínimo de 95% passante na malha correspondente ao mesh 60 (Brasil, 2005). De acordo com Sakhare et al.,

(2013), o tamanho das partículas de uma farinha influencia nas propriedades reológicas, na composição físico-química, na capacidade de retenção de água e em demais interações com outros componentes. Dessa forma, o conhecimento sobre a granulometria de uma farinha se faz necessário para direcionar a aplicabilidade desta.

Tabela 3. Análise granulométrica das Farinhas dos Grãos da Algaroba (FGA) obtidas em diferentes temperaturas de secagem

Mesh Tyler	Abertura da peneira (mm)	% Retenção (T 50°C)	% Retenção (T 60°C)	% Retenção (T 70°C)
20	0,850	8,48	8,46	8,11
28	0,600	7,80	7,57	7,55
35	0,425	15,61	15,14	14,31
60	0,250	25,11	27,14	28,26
80	0,180	8,29	8,56	8,74
100	0,150	3,48	3,36	3,22

T50 – farinha obtida a partir da secagem a 50°C; T60 – farinha obtida a partir da secagem a 60°C e T70 – farinha obtida a partir da secagem a 70°C.

3.4. Propriedades físicas, de qualidade, funcionais e tecnológicas das FGA

Segundo Damodaran et al., (2010), a propriedade tecnológica é uma característica específica e não se refere aos atributos nutricionais. Trata-se de características em que a proteína e amido hidratados propiciam e/ou influenciam nas tecnologias de processamento para obtenção de produtos alimentícios, contribuindo para o comportamento estrutural e sensorial de um alimento e possibilitando solubilidade, hidrofobicidade, capacidade de absorção e retenção de água e óleo, viscosidade, capacidade emulsificante, formação de géis, espumas e emulsões.

A higroscopicidade, a Capacidade de Absorção de Óleo (CAO), a densidade aparente e a atividade emulsificante diferiram estatisticamente ($P < 0,05$) com o aumento da temperatura de secagem da farinha, onde a higroscopicidade, a CAO e a densidade aparente apresentaram seus maiores valores na temperatura de 60 °C, e a atividade

emulsificante diminuiu o seu valor com o aumento da temperatura, conforme observado na Tabela 4.

Tabela 4. Propriedades funcionais e tecnológicas das farinhas dos grãos da algaroba obtidas em diferentes temperaturas de secagem

Variáveis	Temperaturas de secagem			EPM	Valor de <i>P</i>
	(°C)				
	50	60	70		
Higroscopicidade (g 100g ⁻¹)	0,07b	0,08a	0,07b	0,00	0,0002
CAA	3,44	3,40	3,15	0,36	0,5716
CAO (%)	262b	296a	260b	0,11	0,0135
Densidade aparente (g/cm ³)	0,52b	0,57a	0,51c	0,00	<.0001
Densidade real (g/cm ³)	1,09	1,21	1,17	0,11	0,4726
Porosidade	0,52	0,52	0,55	0,04	0,5969
Atividade emulsificante (AE)	40,87a	36,30b	32,09c	1,54	0,0013

Erro padrão da média=EPM; capacidade de absorção de água = CAA; capacidade de absorção de óleo = CAO; a,b,c letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey.

A higroscopicidade em alimentos desidratados, principalmente em farinhas, é um fator importante para a preservação e aumento no tempo de armazenamento. A higroscopicidade da farinha dos grãos da algaroba variou de 0.07 a 0.08 g 100g⁻¹. Para este parâmetro, Silva et al., (2013) encontraram nas farinhas de tapioca, obtidas em diferentes fornecedores, os valores de 0.58 e 0.17 g 100g⁻¹, os autores afirmam que valores altos de higroscopicidade podem ser atribuídos à maior área superficial das partículas que compõem a farinha, indicando que estes produtos requerem maiores cuidados no acondicionamento e armazenamento, pois são mais susceptíveis ao ataque enzimático e por micro-organismos. Por isso a necessidade de embalagens herméticas para este tipo de alimento.

A avaliação do parâmetro densidade de farinhas é importante para a especificação de embalagem, transporte e armazenamento Silva et al., (2013). Esta propriedade depende de uma série de fatores como: massa de seus componentes, geometria e tamanho da partícula, distribuição granulométrica e o método de análise

aplicado (Santana et al., 2017). O melhor resultado de densidade aparente foi observado na MGF60 com valor de 0.57 g/cm^3 , a qual variou estatisticamente das outras farinhas.

Murphy et al. (2001) mostraram que a porosidade do produto apresenta influência direta na transferência de massa durante o processo de aquecimento. A porosidade encontrada nas FGA variou de 52 a 55%, porém, não diferiram estatisticamente entre si ($P>0.05$), indicando que a faixa de temperatura aplicada ao processo de obtenção das farinhas não alterou a característica desta propriedade física. Protonotariou et al. (2020) avaliando farinha de trigo integral encontraram 60% de porosidade e uma variação de 54 a 59% para as farinhas integrais moídas sob diferentes processos de moagem e afirmaram que uma porosidade menor é justificada pela ruptura da matriz do glúten, corroborando com o que foi observado por LI et al. (2012). Comparando a estrutura físico-química da MGF com a farinha de trigo integral, devido a presença significativa de fibras e proteínas, percebe-se que os valores encontrados para a porosidade condizem com a literatura e que a porosidade está relacionada também a rede de proteína do produto, fato relevante numa possível aplicação da farinha.

A CAA não apresentou diferença significativa ($P>0.05$) em função da temperatura. O índice de absorção de água pode indicar alterações na estrutura do amido das farinhas uma vez que o índice de absorção determina o volume ocupado pelo grânulo de amido após o inchaço, provocado pelo excesso de água, o índice de solubilidade determina a quantidade de moléculas livres extraídas do grânulo de amido (SAVLAK et al., 2016).

A CAO está entre as propriedades funcionais das proteínas que interferem em um alimento e podem ser classificadas como propriedades hidrodinâmicas, as quais dependem das interações das proteínas com a água e propriedades ligadas a características de superfície, como a capacidade de absorção de água, de formação de espuma e emulsões (DAMODARAN et al., 2010). Esta interação ocorre a partir de hidrofóbicos presentes na fração proteica da farinha e como característica ela pode alterar os produtos em relação a sua textura, viscosidade e coesão. Altos índices de absorção em óleo determinam se a farinha poderá ser utilizada em produtos cárneos ou

em produtos emulsionados como massas de bolos, maionese ou molhos para saladas, sopas, queijos processados e extensores de carne (PORTE et al., 2011).

As FGA apresentaram um bom índice de absorção de óleo, onde o melhor resultado foi observado na farinha obtida a 60°C, amostra que apresentou a maior concentração de lipídeos (Tabela 2), podendo ser utilizada em produtos viscosos como sopas e massas ou e produtos cárneos reestruturados. Menezes Filho, Souza, e Castro (2019) encontraram índices de AOC de 184.16 e 321.19 % para as farinhas de casca e albedos de laranja, respectivamente e 244.99 e 212,81%, para farinhas das cascas e albedos de melancia, valores que estão similares ao encontrado na MGF que variou de 260 a 296%.

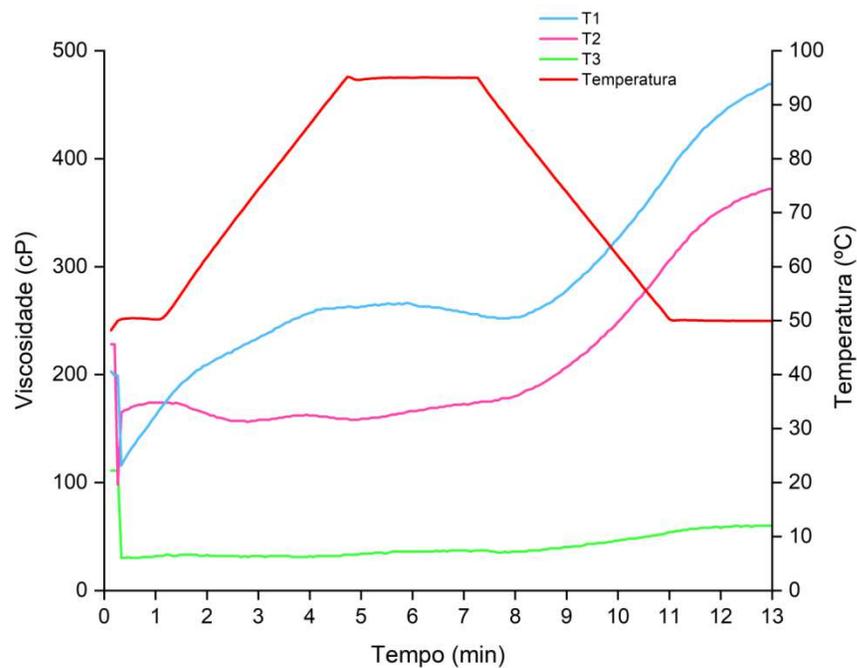
Os tratamentos obtiveram um impacto significativo ($p < 0.05$) para a atividade emulsionante, onde os valores variaram entre 32.09 e 40.87% (Tabela 4). Fatores como o tipo de proteína, a combinação entre proteína e polissacárido, concentração, pH, força iônica e viscosidade do sistema, afetam a atividade emulsionante (TEIXEIRA et al., 2018; CHEN et al., 2016). A amostra com o maior teor de proteína (FGA obtida a 50°C), conforme Tabela 2, também obteve a maior atividade emulsificante. Damodaran et al., (2010) explicam que em temperaturas elevadas ocorre a polimerização das proteínas por meio das reações de troca dissulfeto-sulfidríla, assim, as proteínas que apresentam elevada quantidade de ligações cruzadas e que sofreram o processo de polimerização não se adsorvem na interface ar-água, sendo tal característica essencial para a formação de espuma. Além disso, as amostras com o maior conteúdo de fibras e carboidratos (Tabela 2) obtiveram menores atividades emulsionantes. De acordo com Aydin and Gocmen, (2015) essas são substâncias espessantes e estabilizam as emulsões, isto porque a força necessária para que as gotículas se movam através do líquido viscoso se torna maior do que a força de empuxo que impulsiona a sua migração, o que pode ter proporcionado valores reduzidos para as amostras obtidas a 60 e 70°C.

3.5. Propriedade de pasta

Quando o amido é aquecido em excesso de água, seus grânulos intumescem e a organização cristalina decompõe-se para formar regiões amorfas, essa desordem molecular é denominada gelatinização (Kohyama et al., 2004). Os resultados para a

viscosidade das farinhas obtidos na análise de RVA demonstraram consistência com as micrografias, onde as farinhas a 50 e 60 °C apresentaram a formação de gel, enaltecendo a presença dos grânulos de amido principalmente na FGA (50°C), mesmo que em baixa proporção, enquanto que a farinha a 70 °C demonstrou viscosidade baixa, sem formação de pico, sugerindo baixo teor amiláceo, conforme Figura 5.

Figura 5. Representação da viscosidade nas diferentes temperaturas de secagem (50, 60 e 70 °C) e em diferentes tempos. T₁ – farinha obtida a partir da secagem a 50°C; T₂ – farinha obtida a partir da secagem a 60°C e T₃ – farinha obtida a partir da secagem a 70°C



Fonte: o autor (2020)

O *setback* é um indicativo da tendência à retrogradação, pois o equipamento encerra a análise em 50 °C, e o processo de reorganização dos polímeros pode ser lento (GRANZA et al., 2015). Esta propriedade foi inversamente proporcional ao aumento da temperatura de obtenção das farinhas. Observou-se que a viscosidade máxima das farinhas a 50 e 60 °C foram similares, com pico superior para o produto a 50 °C, cuja estrutura amilácea mostrou-se mais evidente na micrografia. No entanto, ambas apresentaram valores de tendência a retrogradação semelhantes, uma vez que este parâmetro é descrito pela diferença entre a viscosidade mínima sob temperatura

constante e viscosidade final. Já o produto a 70 °C não apresentou viscosidade característica, mantendo estabilidade em seu comportamento de pasta, com consequente baixa tendência à retrogradação devido ao conteúdo

insuficiente desenvolvido no processo. Possivelmente essa ocorrência se deve às interferências de outros componentes presentes na estrutura da farinha.

A capacidade das cadeias de amilose se recristalizarem durante o resfriamento, formando um gel de textura firme está diretamente ligada com a retrogradação do amido (FIGUEROA et al., 2015). Na temperatura em torno de 50 °C ocorre a viscosidade máxima, sugerindo a formação de um gel de amido ou de outros componentes no resfriamento. É válido ressaltar que valores muito baixos de viscosidade de pasta inicial a frio de produtos extrusados podem ser decorrentes do conteúdo proteico e da presença de fibras nas matérias-primas, assim como apresenta a farinha de feijão preto sem tegumento utilizada em estudo realizado por TEBA et al., (2009). Singh et al., (2011) afirmam que a capacidade de absorção de água pelos grânulos de amido pode ser alterada pela presença de proteínas, o que pode ocorrer com a MGF devido ao seu teor proteico. A FGA obtida a 50°C é a farinha com maior viscosidade, podendo ser inserida em alimentos que requerem essa característica.

Segundo Damodaran et al. (2010), a propriedade tecnológica é uma característica específica e não se refere aos atributos nutricionais. Trata-se de características em que a proteína e amido hidratados propiciam e/ou influenciam nas tecnologias de processamento para obtenção de produtos alimentícios, contribuindo para o comportamento estrutural e sensorial de um alimento e possibilitando solubilidade, hidrofobicidade, capacidade de absorção e retenção de água e óleo, viscosidade, capacidade emulsificante, formação de géis, espumas e emulsões.

3.6. Quantificação e identificação dos compostos fenólicos totais e atividade antioxidante

A Atividade antioxidante obtida pelos métodos de DPPH, FRAP, ABTS e os Compostos Fenólicos Totais (CFT) apresentaram efeito significativo ($P < 0,05$) com relação à temperatura de secagem (Tabela 5).

Tabela 5. Atividade antioxidante e compostos fenólicos totais (CFT) das farinhas dos grãos da algaroba obtidas por diferentes métodos

Atividade antioxidante e CFT	Temperaturas de secagem (°C)			EPM	Valor de P
	50	60	70		
DPPH ($\mu\text{mol Trolox}100\text{g}^{-1}$)	453,37b	495,27a	480,14a	0,06	0,0005
FRAP ($\mu\text{M FeSO}_4 \text{ g}^{-1}$)	394,44c	574,10a	446,42b	0,03	<.0001
ABTS ($\mu\text{mol Trolox}100\text{g}^{-1}$)	673,90b	820,46a	361,28c	0,07	<.0001
CFT (mg de GAE/100g de amostra)	178,99c	198,26a	189,46b	1,91	<.0001

Erro padrão da média=EPM; compostos fenólicos totais = CFT; a,b,c letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se que a atividade antioxidante foi maior nas farinhas obtidas a 60 °C em todos os métodos avaliados e que os resultados apresentaram diferença estatística ($P<0,05$) para as temperaturas avaliadas (50, 60 e 70°C). Souza e Correia (2013) encontraram a atividade antioxidante de 80,52 $\mu\text{mol Trolox } 100\text{g}^{-1}$ na farinha da vagem da algaroba através do método de DPPH, valor inferior ao encontrado nesta pesquisa para a farinha dos grãos da algaroba. Bolanho e Beléia (2011) encontraram na farinha de fibra de soja valor de 3,1 $\mu\text{mol TEAC } 100\text{g}^{-1}$ pelo método de FRAP. Logo, percebe-se que a farinha dos grãos da algaroba apresentou um potencial antioxidante elevado quando comparado a outras leguminosas.

O aumento da atividade antioxidante na temperatura de 60 °C encontra-se em concordância com a elevação do conteúdo de fenólicos totais, uma vez que os valores mais elevados de compostos fenólicos podem ser responsáveis pela maior atividade antioxidante (SILVA, 2017). Leão et al. (2017) encontraram valores de atividade antioxidante de 1154,42 $\mu\text{mol trolox } 100\text{g}^{-1}$ na farinha do epicarpo + mesocarpo de pequi, utilizando o ensaio com ABTS. Relataram valores de 17,42 g de GAE para o teor de polifenóis totais.

Scorsatto et al. (2017) afirmaram que o teor dos compostos fenólicos totais foi maior nas farinhas do que nas sementes, uma vez que, com o processo de secagem, ocorre a concentração desses componentes. O teor de compostos fenólicos mais elevado (198,26 mg GAEa 100 g^{-1}) foi observado na farinha obtida a 60 °C, valor inferior ao encontrado por Souza e Correia (2013) que foi de 339,0 mg ác. gál 100 g^{-1} na farinha

da vagem da algaroba. Delfino e Canniatti-Brazaca (2010) avaliaram o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e obtiveram 0,24 mg/g de fenólicos totais em feijão cru e o feijão fava (*Vicia fava*) apresentou 23,9 mg/g (Amarowicz e Shahidi, 2017), valores superiores aos encontrados nesta pesquisa.

Um total de 17 constituintes fenólicos foram identificados nas MGF (Tabela 6). A catequina, 2,4- Dihydroxybenzoic acid, quinina, kampfrol, ácido m-cumárico, sinápico, rutina e ácido ursólico apresentaram diferença estatística ($P < 0.05$) com o aumento da temperatura de secagem. A catequina, a quinina e o ácido sinápico apresentaram redução de concentração na temperatura de 70 °C, já a rutina e o ácido ursólico apresentaram maiores concentrações nesta mesma temperatura. A catequina, o 2,4- Dihydroxybenzoic acid e a quinina demonstraram aumento de concentração mediante 60 °C, já o kampfrol e os ácidos m-cumárico e sinápico aumentaram suas concentrações a 50 °C. O ácido gentísico apresentou traços nas temperaturas de 50 e 70 °C, porém foi a 60 °C que teve destaque em sua concentração.

Tabela 6. Constituintes dos compostos fenólicos das farinhas dos grãos da algaroba obtidas a partir de diferentes temperaturas de secagem

Perfil dos compostos fenólicos ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Tr	Temperatura de secagem ($^{\circ}\text{C}$)			EPM	Valor de P
		50	60	70		
Ác. gentísico	2,04	nd	83,14	nd	3,99	-
Teobromina	2,72	nd	nd	nd	-	-
Catequina	2,84	nd	376,53a	42,92b	1,05	<.0001
Ác. 2,4DHBA	2,91	4,76b	9,38a	nd	0,81	0,0290
Ác. vanílico	3,27	14,12	14,03	12,35	2,66	0,7723
Teofilina	3,97	5,31	9,10	nd	2,43	0,2586
Quinina	3,60	nd	164,15a	144,64b	0,71	0,0013
Ác. siríngico	4,04	3,28	nd	nd	1,65	-
Ác. salicílico	4,31	nd	nd	-	-	-
Ác. p-cumárico	4,80	nd	nd	36,82	2,57	-
Kampferol	4,81	1034,84a	428,29b	nd	1,98	<.0001
Ác. m-cumárico	5,17	54,62a	52,90b	nd	0,34	0,0363
Ác. trans-ferrulico	5,49	15,87	15,88	16,25	0,78	0,8651
Ác. sinápico	5,97	164,20a	132,75b	70,20c	1,89	<.0001
Rutina	8,00	83,27c	94,21b	123,17a	1,60	0,0003
Ác. ursólico	10,01	nd	233,72b	984,15a	0,54	<.0001
Formononetin	10,69	nd	110,40	nd	1,71	-

Erro padrão da média=EPM; ^{a,b,c} letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Tr: tempo de retenção em minutos; nd: não detectado.

Melo e Andrade (2010), avaliaram as farinhas da casca dos frutos do umbuzeiro (*Spondias tuberosa*), uma drupa denominada umbu. A secagem deste resíduo para produção de farinha foi realizada em estufa com circulação de forçada de ar a 40°C. Foram produzidas farinha de resíduos de umbu maduro e farinha de resíduos de umbu semimaduro, as quais apresentaram teores de fenólico totais (equivalente de catequina) de 454,21 mg 100g⁻¹ e 466,17 mg 100g⁻¹, respectivamente.

As catequinas são compostos incolores, hidrossolúveis, que contribuem para o amargor e a adstringência dos produtos que a possuem, a exemplo do chá verde (MATSUBARA e RODRIGUEZ-AMAYA, 2006). O Kaempferol é um composto natural que pode provocar grande variabilidade nos resultados terapêuticos. Embora uma grande quantidade de estudos *in vitro* tenha sido realizada, poucos ensaios clínicos utilizando concentrações precisas desses compostos foram realizados. Mais experimentos e estudos clínicos focados em flavonóides precisam ser executados para esclarecer o valor dessas moléculas no tratamento do câncer. Embora uma grande quantidade de informações tenha sido compilada, pesquisas futuras devem investigar o uso do kaempferol como uma opção de tratamento para pacientes com câncer vivos (CHEN & CHEN, 2013).

Díaz-Batalla et al. (2018) estudaram os compostos bioativos da *Prosopis laevigata* e investigaram a farinha de sementes de algaroba quanto à presença de miricetina, quercetina, kaempferol apigenina, daidzeína e genisteína. Dentre estes, apenas a apigenina foi confirmada. E os autores concluem que a farinha de semente de algaroba é um valioso alimento vegetal rico em proteínas e compostos ativos de boa qualidade.

Diante dos resultados, notou-se que a FGA é uma farinha valiosa como alimento vegetal, rica em proteínas e compostos bioativos de boa qualidade. Portanto, ao inserir a MGF também na alimentação humana, será possível promover benefícios ao consumidor devido às propriedades que os compostos bioativos possuem. Além disso, acarretará o reaproveitamento de um subproduto agroalimentar, utilizado para alimentação animal, mas com potencial tecnológico também para alimentação humana

4. CONCLUSÕES

As farinhas obtidas a partir dos grãos de algaroba podem ser caracterizadas como alimento fonte de proteínas, devido ao alto teor encontrado para este constituinte. Além disso, o conteúdo de compostos fenólicos e a atividade antioxidante classificam esse produto como uma farinha com boas propriedades bioativas.

As farinhas que apresentaram os melhores resultados em termos de propriedades físicas, físico-químicas, morfológicas e tecnológicas foram às obtidas nas temperaturas de 50 e 60°C. A morfologia e a análise de viscosidade indicaram possível presença de amido principalmente na FGA (50°C), indicando, em termos tecnológicos, que essa farinha pode ser utilizada como agente espessante. Nas demais propriedades, a FGA (60°C) apresentou os melhores valores de proteína, CAA, CAO e os melhores resultados para a atividade antioxidante e CFT. Diante deste perfil, a FGA (60°C) representa um ingrediente de valor agregado para sistemas alimentares que requerem alta absorção de água e gordura, como por exemplo, produtos cárneos.

Portanto, os resultados encontrados confirmam o potencial das farinhas de algaroba produzidas a partir dos grãos como fontes relevantes de proteína, amido e compostos fenólicos. O possível desenvolvimento destas farinhas, pode servir de incentivo para o cultivo e posterior exploração de uma fonte subutilizada, de baixo custo e facilmente disponível.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al, Y. et al. Starch characterization and ethanol production of sorghum. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.59, n.13, p. 7385-7392, 2011.

ALVES, J. S. **Caracterização de farinhas de feijão crioulo (*Phaseolus Vulgaris*) e sua utilização na elaboração de maionese**. 2016. 101 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos). Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS. 101 f. 2016.

AMAROWICZ, R.; SHAHIDI, F. Antioxidant activity of broad bean (*Vicia faba*) seed extract and its phenolic composition. **Journal of Functional Foods**, v. 38, p. 656, 2017.

ANVISA - **Rotulagem nutricional obrigatória: manual de orientação às indústrias de Alimentos** - 2º Versão / Agência Nacional de Vigilância Sanitária – Universidade de Brasília – Brasília : Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária / Univ, 2005. 2005.

ASSIS, R.Q., ANDRADE, K.L., GOMES BATISTA, L.E., DE OLIVEIRA RIOS, A., DIAS, D.R., NDIAYE, E.A., DE SOUZA, É.C. Characterization of mutamba (*Guazuma ulmifolia* LAM.) fruit flour and development of bread. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v.19, p.101120, 2019.

AYDIN, E; GOCMEN, D. The influences of drying method and metabisulfite pretreatment on the color, functional properties and phenolic acids contents and bioaccessibility of pumpkin flour. **Food Science and Technology**. v. 60, n.1, p. 385-392, 2015.

BARBI, R.C.T. et al. Food Hydrocolloids. *Eriobotrya japonica* seed as a new source of starch: Assessment of phenolic compounds, antioxidant activity, thermal, rheological and morphological properties. **Elsevier Ltd**. v. 77, p. 646-658, 2018.

BENINCA, C. et al. Thermal behavior of corn starch granules modified by acid treatment at 30 and 50 °C. **Eclética Química**, v. 33, n. 3, p-13-18, 2008.

BENZIE, I.; STRAIN, J. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power: The FRAP Assay". **Analytical Biochemistry**, v. 239, p. 70-76,1996.

BEZERRA, C.V. **Caracterização e avaliação das propriedades funcionais tecnológicas da farinha de banana verde obtida por secagem em leite**. 2010. 89f. Dissertação (Mestrado em Alimentos) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Pará. 89 f. 2010.

BOLANHO, B.C.; BELÉIA, A.P. Bioactive compounds and antioxidant potential of soy products. **Alimentos e Nutrição**, v.22, n.4, p.539-546, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 54, de 12 de novembro de 2012. **Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar**. Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 21 ago. 2006.

BRASIL - Ministério da Saúde, 2005. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC Nº 263, de 22 de setembro de 2005. **Regulamento Técnico para Produtos de Cereais, Amidos, Farinhas e Farelo**. 1, 6. <https://doi.org/22/12/2000>

BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução nº54, de 12 de novembro de 2012. Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2012.

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

CAVALCANTE, A.M. DE M., ALMEIDA, R.D., MELO, A.M., MORAIS, B.A., SILVA, I.R., RIBEIRO, N.L., ALEXANDRE, H.V., SILVA, O.S. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos da algaroba. **Brazilian Journal of Development**. v.6, p.11192–11209. 2020.

CAVALCANTE, A.M. DE M., SILVA, O.S. DA, NETO, G.J. DA S., MELO, A.M. DE, RIBEIRO, N.L. Evaluation of the Antioxidant Potential of Mesquite Grains Flour in Hamburger Meat Product. **Journal of Experimental Agriculture International**. v.41, p.1–14. 2019.

CHEN, A.Y.; CHEN, Y.C. A review of the dietary flavonoid, kaempferol on human health and cancer chemoprevention. **Food Chemistry**, v. 138, n. 4, p. 2099-2107, 2013.

CHISTÉ, R. C. et al. Qualidade da farinha de mandioca do grupo seca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, p. 861-864, 2006.

CHOGE, S.K. et al. Prosopis pods as human food, with special reference to Kenya. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE NUTRITIONAL VALUE AND WATER USE OF INDIGENOUS CROPS FOR IMPROVED LIVELIHOODS HELD. University de Pretoria. Pretoria. South Africa Proceedings... v. 33, 2007.

CLAVER, I. P. et al. Impact of the soak and the malt on the physicochemical properties of the sorghum starches. **International Journal of Molecular Science**, vol.11, n.8, p. 3002–3015, 2010.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. Tradução Adriano Brandelli. [et al.]. ed. 4. Artmed. Porto Alegre: Brasil. 900 p. 2010.

DELFINO, R. A.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Interação de polifenóis e proteínas e o efeito na digestibilidade proteica de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Pérola. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, p 308, 2010

DÍAZ-BATALLA, L. et al. Nutritional characterization of *Prosopis laevigata* legume tree (Mesquite) seed flour and the effect of extrusion cooking on its bioactive components. **Foods**, v. 7, p. 124, 2018.

ELMONEIM. A.; ELKHALIFA, O.; BERNHARDT, R. Influence of grain germination on functional properties of sorghum flour. **Food Chemistry**, v.121, p.387–392, 2010.

FELLOWS, J.P. **Tecnologia do processamento de alimentos**. 2.Ed. Porto Alegre: ARTMED Livraria, 2006. 602p.

FERREIRA, A. C. P; BRAZACA, S, G, C; ARTHUR, V. Alterações químicas e nutricionais do grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) cru irradiado e submetido à cocção. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 26, n. 1, p. 80-88, Mar. 2006.

FIGUEROA, A.M., LACERDA, L.G., SCHNITZLER, E., DEMIATE, I.M. Caracterização Das Propriedades De Pasta E Térmicas De Amidos De Feijão Branco, Carioca, Fradinho E Preto. **Brazilian Journal of Thermal Analysis**, v.4, n.3, p. 12, 2015.

GUERRA, N.B. et al. Modificações do método gravimétrico não enzimático para determinar fibra alimentar solúvel e insolúvel em frutos. **Revista de Nutrição**, v.17, n.1, p. 45-52, 2004.

GUSMÃO, R.P. DE, GUSMÃO, T.A.S., MOURA, H.V., DUARTE, M.E.M., CAVALCANTI-MATA, M.E.R.M. Caracterização tecnológica de cookies produzidos com diferentes concentrações de farinha de algaroba durante armazenamento por 120 dias. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.21, 2018.

GUSMÃO, R.P. **Desenvolvimento de biscoito enriquecido com farinha de algaroba: avaliação tecnológica, sensorial e armazenabilidade**. 2015. 233 f. (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande-PB. 2015.

GRANZA, A. G. et al. Effects of acetylation and acetylationhydroxypropylation (dual-modification) on the properties of starch from Carioca bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v.119, n.1, p. 769–777, 2015.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 5. ed. São Paulo. 1020 p. 2008.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Official methods of the International Association of Cereal Science and Technology**. Scwechat, Austria, 1995.

IGLESIAS, M. J. Presente y futuro de los alimentos funcionales. In: Inglesias MJ; Alejandre AP (Coord.). Alimentos saludables y de diseño específico. **Alimentos funcionales**. 1ª ed. Madrid: Ed. IM&C, p. 29-44, 2010.

KÄHKÖNEN, M. P.; HEINONEN, M. Antioxidant activity of anthocyanins and their aglycons. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 628-633, 2003.

KIBAR, H., KIBAR, B. Changes in some nutritional, bioactive and morpho physiological properties of common bean depending on cold storage and seed moisture contents. **Journal of Stored Products Research**, v.84, p.101531, 2019.

KOHYAMA, K., MATSUKI, J., YASUI, T., SASAKI, T. A differential thermal analysis of the gelatinization and retrogradation of wheat starches with different amylopectin chain lengths. **Carbohydrate Polymers**, v. 58, p. 71- 77, 2004.

KHAN, M. I. et al. Meat as a functional food with special reference to probiotic sausages. **Food Research International**, Oxford, v. 44, n. 10, p. 3125-3133, 2011.

LEÃO, D. L. et al. Physicochemical characterization, antioxidant capacity, total phenolic and proanthocyanidin content of flours prepared from pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) fruit by-products. **Food Chemistry**, v. 225, p. 146–153, 2017

LI, B.W; CARDOZO, M.S. Nonenzymatic-gravimetric determination of dietary fiber in fruits and vegetables. **J AOAC Int**; v. 77, n.3, p.687-9, 1994.

LI, J., KANG, J., WANG, L., LI, Z., WANG, R., CHEN, Z. X., & HOU, G. G. Effect of water migration between arabinoxylans and gluten on baking quality of whole wheat bread detected by magnetic resonance imaging (MRI). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.60(26), p.6507–6514, 2012.

MARTINO, H.S.D., TOMAZ, P.A., AGUIAR MORAES, É., LOPES, L., CONCEIÇÃO, D., DA, D., OLIVEIRA, S., APARECIDA, V., QUEIROZ, V., AVELINO, J., RODRIGUES, S., PIROZI, M.R., MARIA, H., ANA, P.S., MACHADO, S., RIBEIRO, R. Chemical characterization and size distribution of sorghum genotypes for human consumption. **Rev Inst Adolfo Lutz**, 71, p.337–44, 2012.

MARTINS, T. S. **produção de coproduto de araçá (*psidium cattleianum*): características da farinha e sua aplicação como novo ingrediente na indústria de panificação**. 2017. 127f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *Campus* Rio Verde, Rio Verde-GO, 2017.

MARTINS, K. R. B. **Efeito de dois genótipos de grãos integrais de sorgo (*sorghum bicolor* L.) e arroz (*oriza sativa* L.) sobre as propriedades funcionais E tecnológicas de macarrão sem glúten de massa seca**. 2017. 127f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos,

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *Campus* Rio Verde, Rio Verde-GO, 2017.

MARTINS, V.G., KALIL, S.J., BERTOLIN, T.E., COSTA, J.A.V. Solid State Biosurfactant Production in a Fixed-Bed Column Bioreactor. **Zeitschrift für Naturforschung**, v. 61, n. 9-10, p. 721-726, 2006.

MATSUBARA, S.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Teores de catequinas e teaflavinas em chás comercializados no Brasil. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n. 2, 401-407, 2006.

MELO, E. A.; ANDRADE, R. A. M. S. Compostos bioativos e potencial antioxidante de frutos do umbuzeiro. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 21, n. 3, p. 453-457, 2010.

MENEZES FILHO, A.C.P.; SOUZA, J.C.P.; CASTRO, C.F.S. Avaliação dos parâmetros físico-químicos e tecnológicos da farinha produzida a partir dos resíduos da agroindústria de laranja e melancia. **Revista Agrarian**, v.12, n.45, p. 399-410, 2019.

MURPHY, R. Y., JOHNSON, E. R., DUNCAN, L. K., CLAUSEN, E. C., DAVIS, M. D., & MARCH, J. A. Heat transfer properties, moisture loss, product yield, and soluble proteins in chicken breast patties during air convection cooking. **Poultry Science**, v. 80(4), p.508–514, 2001.

NEPA (Núcleo de Estudos e Pesquisa em Alimentação). **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos - TACO**, 4.ed. Campinas: Book Editora, 2011. 26-27p; 36-37p; 62-63p

ORO, T. et al. Propriedades de pasta de mescla de farinha integral com farinha refinada usadas na produção de pães. **Ciência Rural**. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/2013nahead/a11613cr6346.pdf>>. Acessado em: 17/09/2019.

ORSI, D. C. et al. Caracterização química, atividade antioxidante e formulação de doces com feijão azuki (*Vigna angularis*). **Brazilian Journal food Technology**, Campinas, v.20, n.3, e2016174, Aug. 2017.

PORTE, A. et al. Propriedades funcionais tecnológicas das farinhas de sementes de mamão (*Carica papaya*) e de abóbora (*Cucurbita* sp). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande-PB, v. 13, n. 1, p. 91-96, 2011.

PROTONOTARIOU, S., STERGIU, P., CHRISTAKI, M., & MANDALA, I. G. Physical properties and sensory evaluation of bread containing micronized whole wheat flour. **Food Chemistry**, v.318(October 2019), 126497, 2020.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v.26, p.1231–1237, 1999.

- ROSÁRIO, H. F. **Caracterização de Farinhas de Sementes de Mamão Papaia e Formosa**. 2019. 49 f. (Trabalho de Conclusão de Curso) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre. 2019.
- RUTO, M. C. et al. Antioxidant activity and antimicrobial properties of *Entada leptostachya* and *Prosopis juliflora* extracts. **Journal of Medicinal Plants for Economic Development**, v.2, p.1-8, 2018.
- SAKHARE, S.D., INAMDAR, A.A., SOUMYA, C., INDRANI, D., RAO, G.V. Effect of flour particle size on microstructural, rheological and physico-sensory characteristics of bread and south Indian parotta. **Journal of Food Science and Technology**, v.51, p.4108–4113, 2013.
- SANTANA, G. S.; OLIVEIRA FILHO, J. G.; EGEEA, M. B. Características tecnológicas de farinhas vegetais comerciais. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 2, p. 88-95, abr./jun. 2017.
- SANTOS, A. D. et al. Características tecnológicas de farinha de milho roxo (*Zea mays* L.) variedade subni groviolaceo. **IN: 57º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA**, 23 a 27 de outubro de 2017.
- SAVLAK, N.; TÜRKER, B.; YESILKANAT, N. Effects of particle size distribution on some physical, chemical and functional properties of unripe banana flour. **Food Chemistry**. v. 213, n. 1, p.180–186, 2016
- SILVA, D.V. **Propriedades nutricionais, físicas, químicas e tecnológicas funcionais das farinhas de baru (*Dipteryx alata Vogel*) em função de diferentes condições de secagem do fruto**. 2017. 113 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 113p, 2017.
- SILVIA, P. A. et al. Caracterização de farinhas de tapioca produzidas no estado do Pará. **Revista Ciência Rural**, v. 43, n. 1, p. 185-191, 2013.
- SILVA, C.G. **Otimização do processo de produção da aguardente de algaroba e aproveitamento dos resíduos sólidos em produtos alimentares**. 2009. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande-PB. 2009.
- SILVA, C.G.M., DE MELO FILHO, A.B., PIRES, E.F., STAMFORD, T.L.M. Caracterização físico-química e microbiológica da farinha de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC). **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, v.27, p.733–736, 2007.
- SIMONI, R.C. **Hidratação de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.): estudo cinético e influência na qualidade tecnológica do grão**. 2017. 132 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba. 2017.

SINGLETON, V.L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTOS, R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin Ciocalteu reagent. **Methods Enzymol.** v. 299, p. 152-178. 1999.

SINGH, S. et al. Relationship of polymeric proteins with pasting, gel dynamic- and dough empirical-rheology in different Indian wheat varieties. **Food Hydrocolloids**, v. 25, p. 19-24, 2011.

SOUZA, S. M. et al. Influência físico-química da farinha de soja no processamento de biscoito. **Revista Desafios.** v.6, Especial, 2019.

SOUZA, R. L. A.; CORREIA, R. T. P. Caracterização físico-química e bioativa do figo-da-índia (*Opuntia ficus-indica*) e farinha de algaroba (*Prosopis juliflora*) e avaliação sensorial de produtos derivados. **Brazilian Journal of Food and Nutrition**, v. 24, n. 4, p. 369-377, 2013.

SOUZA, R.L.A.; DE, OLIVEIRA, L. DE S.C., SILVA, F.L.H. DA, AMORIM, B.C. Caracterização da poligalacturonase produzida por fermentação semi-sólida utilizando-se resíduo do maracujá como substrato. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.9, p. 987-992, 2010.

SCORSATTO, M. et al. Avaliação de compostos bioativos, composição físico-química e atividade antioxidante *in vitro* da farinha de berinjela. **International Journal of Cardiovascular Science**, v. 30, n. 3, p. 235-242, 2017.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS. (2001). General linear model: 9.0. SAS Institute Cary, NC.

TEBA, C. S.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades de pasta de massa alimentícias pré-cozidas de arroz e feijão. **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n. 3, p.411-426, 2009.

TEIXEIRA, G.L., ÁVILA, S., HORNUNG, P.S., BARBI, R.C.T., RIBANI, R.H. Sapucaia nut (*Lecythis pisonis* Cambess.) flour as a new industrial ingredient: Physicochemical, thermal, and functional properties. **Food Research International**, v.109, p.572-582, 2018.

VIEIRA, T.S. et al. Efeito da substituição da farinha de trigo no desenvolvimento de biscoitos sem glúten. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.18, n.4, p.285-292, 2015.

ZAVAREZE, E. et al. Impact of heat-moisture treatment on rice starch, applied directly in grain paddy rice or in isolated starch. LWT. **Food Science and Technology**, Pelotas, vol.60, n.2, p.708-713, 2015.

CAPÍTULO 2

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIOXIDANTE DA FARINHA DOS GRÃOS DA
ALGAROBA NO ARMAZENAMENTO DE HAMBÚRGUER**

**EVALUATION OF THE ANTIOXIDANT POTENTIAL OF ALGAROBA GRAIN FLOUR
IN HAMBURGER STORAG**

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIOXIDANTE DA FARINHA DOS GRÃOS DA ALGAROBA NO ARMAZENAMENTO DE HAMBÚRGUER

Resumo: Objetivou-se elaborar um hambúrguer bovino adicionado de diferentes percentuais de adição de farinha dos grãos da algaroba (FGA) e verificar se se a mesma exerceu efeito antioxidante durante o armazenamento de 60 dias, avaliando nesse período as características físicas, químicas e físico-químicas dos produtos. Foram elaboradas quatro formulações de hambúrguer com diferentes percentuais de adição de FGA: F₀ (0%), F₂ (2%), F₄ (4%) e F₆ (6%). A carne bovina foi utilizada como base para a determinação das porcentagens dos demais ingredientes adicionados à massa. As análises de proteína, lipídeos, carboidratos, valor energético, pH, oxidação lipídica, oxidação proteica, L*, a* e b* apresentaram efeito significativo (P<0,05) para inclusão de farinha de algaroba x dias de armazenamento. No armazenamento de 30 dias foram observados os melhores comportamentos das variáveis avaliadas. As concentrações adicionadas de FGA não foram eficientes para retardar as oxidações lipídicas e proteicas durante o armazenamento dos hambúrgueres, apresentando valores superiores aos obtidos para a formulação com 0% de adição.

Palavras-chave: atividade antioxidante, oxidação, produto cárneo, resíduos.

EVALUATION OF THE ANTIOXIDANT POTENTIAL OF ALGARROBA GRAIN FLOUR IN HAMBURGER STORAGE

Abstract: The objective was to prepare a beef hamburger with different percentages of added flour from the mesquite grains (FGA) and check if it had an antioxidant effect during the 60-day storage, evaluating in this period the physical, chemical and physicochemical characteristics of the products. Four hamburger formulations were prepared with different percentages of FGA addition: F0 (0%), F2 (2%), F4 (4%) and F6 (6%). Beef was used as a basis for determining the percentages of the other ingredients added to the dough. The analysis of protein, lipids, carbohydrates, energy value, pH, lipid oxidation, protein oxidation, L *, a * and b * showed a significant effect ($P < 0.05$) for the inclusion of mesquite flour x days of storage. In the 30-day storage, the best behaviors of the evaluated variables were observed. The added concentrations of FGA were not efficient to delay the lipid and protein oxidations during the storage of the hamburgers, presenting values higher than those obtained for the formulation with 0% addition.

Keywords: antioxidant activity, oxidation, meat product, waste.

1. INTRODUÇÃO

Com a disseminação da informação, o consumidor tem exigido cada vez mais produtos que sejam, práticos, higienicamente corretos e com qualidade nutricional, promovendo aumento da competitividade entre as indústrias, o que leva à exigência crescente no processo de escolha dos produtos. Devido à demanda por produtos com baixo teor de gordura, as indústrias alimentícias e os institutos de pesquisa estão intensificando o desenvolvimento de novas formulações ou modificações de produtos tradicionais com o objetivo de criar alternativas para reduzir o teor de gordura (LOUZADA et al., 2015) e atender a atual demanda de mercado.

Devido à praticidade de preparo e por possuir nutrientes que saciam a fome rapidamente, o hambúrguer se tornou um produto consumido por todas as classes populares, porém esse tipo de produto pode ser prejudicial à saúde humana, podendo ocasionar aumento da pressão arterial, excesso de gordura no sangue e obesidade, que são doenças tidas como um problema de saúde pública e que, em tempos recentes, têm acometido além de adultos, idosos e crianças (OLIVEIRA et al., 2013). Trata-se de um produto cárneo industrializado submetido a processos que podem favorecer o seu sistema de conservação, por meio de instalação e veiculação de micro-organismos. Portanto, a qualidade da carne destinada ao consumo é motivo de constante preocupação em todo o mundo (MELO et al., 2012).

Alimentos de preparo rápido e de grande abrangência popular vêm se tornando objetos de estudo na área de alimentos (TREVISAN et al., 2016). Os produtos reestruturados semi prontos para o consumo apresentam-se como alternativa para o mercado, atendendo a demanda de facilidade no preparo e boa aceitação (BORBA et al., 2013). Vários tipos de fibras vegetais têm sido avaliados individualmente ou combinados com outros ingredientes em formulações de produtos cárneos para beneficiar este produto, como por exemplo, redução no teor de gordura (OLIVEIRA et al., 2013).

O desenvolvimento de produtos cárneos funcionais pode ser um estímulo à introdução de alimentos saudáveis na dieta dos consumidores (BRASIL, 2000). Alguns Ingredientes têm sido utilizados para a adição ou substituição da gordura animal nos produtos cárneos por misturas de amido e gomas (ÁLVAREZ e BARBUT, 2013; CHOE et al., 2013; BORTNOWSKA et al., 2014), por óleos vegetais (SALCEDO-SANDOVAL

et al., 2013 e COFRADES et al., 2014) e por diferentes fibras alimentares (TOMASCHUNAS et al., 2013; KTARI et al., 2014; BARRETTO et al., 2015; SCHMIELE et al., 2015).

Produtos cárneos reestruturados representam uma categoria com grande potencial para aplicação de ingredientes funcionais com apelos de saudabilidade (TREVISAN et al., 2016). Além disso, possui a característica de permitir a inserção de ingredientes em sua formulação, que é o caso das farinhas e das fibras, visando agregar valor ao produto do ponto de vista nutricional e contribuindo com benefícios do ponto de vista tecnológico, uma vez que esse tipo de produto sofre bastante efeito da oxidação durante o seu armazenamento.

Os tecnólogos de alimentos consideram a oxidação como um dos principais problemas relacionados à deterioração da qualidade da carne e produtos cárneos durante a estocagem. A deterioração oxidativa em carnes se manifesta com a mudança na coloração, sabor, formação de compostos tóxicos, menor vida de prateleira, perda de nutrientes e água (CONTINI et al., 2014). As estratégias tecnológicas para o controle da oxidação lipídica e proteica em carnes e derivados baseiam-se na inserção de substâncias com atividade antioxidante na formulação dos produtos e/ou redução da exposição da carne ao oxigênio molecular (ESTÉVEZ, 2011; LUND et al, 2011).

Sendo assim, objetivou-se elaborar formulações de hambúrguer bovino adicionado de diferentes níveis de adição da farinha dos grãos da algaroba (FGA) e avaliar o efeito antioxidante da farinha e o estudo das características físico-químicas durante o armazenamento por 60 dias.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Matéria-prima

A farinha dos grãos da algaroba foi obtida após secagem convectiva das sementes em estufa (TECNAL, te 394/3 MP, São Paulo, Brasil), com circulação forçada de ar, velocidade do ar de secagem em torno de 1 m s^{-1} , na temperatura de 60°C até massa constante e moagem em moinho de sementes (TECNAL, TE-044-8/50).

2.2. Desenvolvimento dos hambúrgueres

Os hambúrgueres foram elaborados na Unidade de Processamento de Carnes e Derivados da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), utilizando-se carne bovina (acém moído), temperos desidratados, farinha dos grãos da algaroba (FGA) e gordura vegetal. Todos os ingredientes, com exceção da FGA, foram obtidos em supermercados na cidade de João Pessoa-PB.

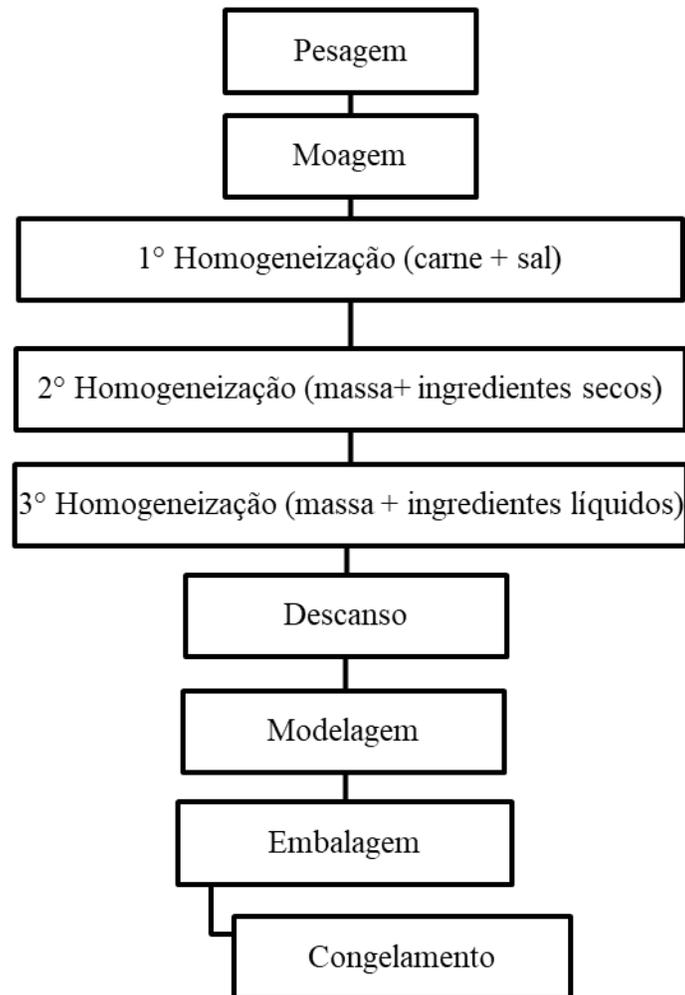
As formulações foram desenvolvidas a partir de testes preliminares e seguindo orientações de Oliveira et al. (2014) e Melo e Clerice (2013), com adaptações. Foram elaboradas quatro formulações de hambúrguer com diferentes percentuais de adição de FGA: F₀ (0%), F₂ (2%), F₄ (4%) e F₆ (6%), conforme Tabela 7.

Tabela 7. Formulação dos hambúrgueres adicionados de farinha dos grãos da algaroba (FGA)

Ingredientes (g)	Formulações			
	F ₀	F ₂	F ₄	F ₆
Carne (acém)	86,0	86,0	86,0	86,0
Sal	1,5	1,5	1,5	1,5
Pimenta branca	0,1	0,1	0,1	0,1
Cebola em pó	0,5	0,5	0,5	0,5
Alho em pó	0,3	0,3	0,3	0,3
Emulsificante	0,2	0,2	0,2	0,2
Glutamato monossódico	0,3	0,3	0,3	0,3
Óleo de soja	6,0	6,0	6,0	6,0
Água gelada	5,0	5,0	5,0	5,0
FGA	0,0	2,0	4,0	6,0

A proteína foi utilizada como base para a determinação das porcentagens dos demais ingredientes adicionados à massa. Após pesada, a carne foi moída em moedor industrial, adicionado-se o sal e realizada a 1º homogeneização. Em seguida, adicionou-se a esta massa os outros ingredientes secos (pimenta branca, cebola em pó, alho em pó, emulsificante, pimenta branca e glutamato monossódico) (2º homogeneização) e por último os ingredientes líquidos, óleo de soja e água gelada, (3º homogeneização), fluxograma descrito na Figura 6.

Figura 6. Fluxograma de processamento dos hambúrgueres



Fonte: o autor (2020)

Após a homogeneização, a massa foi colocada em bandejas plásticas para descanso, cobertas com papel filme durante 8 horas sob refrigeração a 8°C (Figura 7).

A modelagem foi realizada de forma artesanal, em hamburgueira doméstica, com 82 g de massa cárnea por unidade do produto. Os hambúrgueres foram colocados em sacos plásticos de polietileno de baixa densidade e acondicionados em bandejas de isopor na temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, conforme Figura 8.

Figura 7. Descanso refrigerado da massa cárnea



Fonte: o autor (2020)

Figura 8. Representação das embalagens dos hambúrgueres



Fonte: o autor (2020)

2.3. Análise Microbiológica

Foram realizadas as análises em triplicata para a pesquisa de *Salmonella* spp., pesquisa de *Staphylococcus coagulase positiva* e pesquisa de coliformes a $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ seguindo a metodologia da American Public Health Association (APHA, 2001). As análises foram realizadas no Laboratório de Microbiologia da Universidade Federal da

Paraíba (UFPB), antes do congelamento, para os tratamentos no tempo 0, e os resultados foram comparados com os parâmetros microbiológicos da RDC nº12 de 2 de janeiro de 2001, estabelecidos pela ANVISA (BRASIL, 2001).

2.4. Constituintes dos compostos fenólicos

Os constituintes fenólicos da farinha foram determinados por meio de cromatografia líquida com o objetivo de avaliar o seu potencial oxidante nas quatro formulações de hambúrguer bovino. Foi utilizado um cromatógrafo líquido de ultra alta eficiência Acquity UPLC H-Class (Waters, Miliford, MA, EUA), com detector de arranjo de diodos DAD (Waters, Miliford, MA, EUA), bomba quaternária e amostrador automático, com uso de padrões de ácidos fenólicos para comparação dos resultados dos métodos espectrofotométricos. A dimensão da coluna usada foi de 2,1 mm x 50 mm x 17 µm, Acquity BEH C18 (Waters, Miliford, MA, EUA) a 30°C. A fase móvel consistiu de A (0,1 % ácido fórmico em água ultra-pura) e B (0,1 % ácido fórmico em metanol). A melhor separação cromatográfica dos padrões foi obtida usando um fluxo de 0,35 mL min⁻¹ e um gradiente de eluição de 0 min - 10% B; 4 min - 30% B; 5, min - 30% B; 10 min - 60% B; 11,5 min - 60% B e, eluição isocrática com 10% B até 15 min, seguindo a metodologia descrita por Barbi et al. (2018), com adaptações. Os compostos fenólicos foram identificados comparando os tempos de retenção com os dos seus respectivos padrões. O conteúdo de ácidos fenólicos foi quantificado utilizando curvas de calibração externas.

2.5. Estudo do armazenamento do produto

Os hambúrgueres foram armazenados em temperatura de congelamento (-18°C) por 60 dias em freezer doméstico, dispostos em bandejas de isopor (2 unidades por bandeja) e cobertos individualmente por embalagem plástica de polietileno, simulando a embalagem e armazenamento comercial (Figura 9).

As amostras foram submetidas à avaliação periódica e a cada 30 dias (0, 30 e 60 dias) foram retiradas amostras para a realização das análises químicas (acidez, oxidação lipídica e proteica), físicas (cor, textura, pH, perda de peso por cozimento (PPC) e percentual de encolhimento (PE) e físico-químicas (umidade, cinzas, lipídeos, proteínas, carboidratos, fibras, Aw e valor energético total (VET)), para avaliar o

comportamento, a estabilidade e a oxidação das amostras ao longo do armazenamento, bem como a influência da adição da FGA no tempo de vida útil dos hambúrgueres.

Figura 9. Armazenamento dos hambúrgueres



Fonte: o autor (2020).

2.5.1. Caracterização física, química e físico-química

Toda caracterização física (cor, pH, perda de peso por cozimento (PPC), percentual de encolhimento (PE) e textura.), química (acidez, oxidação lipídica e proteica) e físico-química (umidade, cinzas, lipídeos, proteínas, carboidratos, fibras, Aw e VET) foi realizada em triplicata no dia da fabricação do produto (antes do congelamento (t_0)) e durante o armazenamento dos hambúrgueres: 30 dias (t_{30}) e 60 dias (t_{60}).

A determinação da cor foi realizada em triplicata utilizando o colorímetro Miniscan Hunterlab EZ Marca Braseq, modelo 4500L, por meio do sistema CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) $L^* a^* b^*$. A análise foi realizada conforme descrição de Khan et al. (2013). O pH das amostras foi obtido de acordo com metodologia descrita pelas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

Para o cálculo da PPC e o PE utilizou-se a metodologia de Sayas-Barberá et al. (2011). O peso das amostras dos hambúrgueres foi medido antes e depois do cozimento para determinar as perdas, expressa através da Equação 10. Já o percentual de encolhimento foi determinado segundo a Equação 11.

$$\%PPC = 100 \times \frac{\text{Peso amostra cozida}}{\text{Peso amostra crua}} \quad (\text{Equação 10})$$

$$\%Encolhimento = \frac{(DACR - DACO) \times 100}{(DACR)} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde: DACR – Diâmetro da Amostra Crua e DACO – Diâmetro da Amostra Cozida

A Análise do Perfil de Textura (*Texture Profile Analysis*-TPA) foi determinada em um analisador de textura (Brookfield CT3), em triplicata, a partir da cocção dos hambúrgueres tendo como base o método descrito por BOURNE (1978). As amostras foram submetidas ao cozimento em chapa elétrica (170°C) por 5 minutos em cada lado e arrefecidas até que o centro geométrico atingisse a temperatura de 55°C. De cada amostra foram retiradas porções de dois locais diferentes, as quais foram cortadas em discos de 35mm. As amostras foram comprimidas em dois ciclos, com velocidade de teste de 2,0 mm/s, força de gatilho de 0,1 N e taxa de deformação de 50%. Utilizou-se probe cilíndrico de acrílico transparente com 50,8 mm de diâmetro e 20mm de altura para realizar as compressões, segundo metodologia utilizada por Gonçalves e Magalhães (2018) e Lin e Chao (2001), com adaptações. Os parâmetros avaliados foram: dureza (N), adesividade (N×s), mastigabilidade (N), elasticidade (adimensional), coesividade (adimensional), rigidez (N) e resiliência (sem dimensão).

A análise de acidez titulável foi determinada segundo as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

A oxidação lipídica (TBARS) foi avaliada através da medição das substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) seguindo o método descrito por Estévez e Cava (2004) e Rosmini et al. (1996), com adaptações. A concentração de TBARS foi obtida através da leitura das absorbâncias a 532 nm e expressa em mg de malonaldeído por Kg de amostra (mg de MDA/kg de amostra) e uma curva padrão de Tetraetoxipropano (TEP).

A oxidação das proteínas (quantificação dos compostos carbonílicos) foi avaliada a partir da quantificação de compostos carbonílicos totais das amostras após derivatização com 2,4 dinitrofenilhidrazina (DNPH) segundo metodologia adaptada de Ganhão; Morcuende e Estévez (2010). A concentração de proteínas das amostras foi calculada a partir da leitura das absorbâncias a 280 nm utilizando uma curva padrão de

albumina sérica bovina (BSA). A quantidade de carbonílicos foi expressa em nmoles de carbonílicos por mg de proteína, usando um coeficiente de extinção molar de hidrazonas ($21,0 \text{ nM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) com leituras da absorbância a 370nm.

A atividade de água (A_w) foi determinada por um analisador de atividade de água da marca Aqualab, modelo 4TE, conforme procedimento da AOAC (2005); umidade (secagem das amostras a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ até massa constante), cinzas (incineração das amostras em uma mufla a $550 \text{ }^\circ\text{C}$), proteína (método de Kjeldahl) e lipídeos (extração a quente com hexano num aparelho de Soxhlet) segundo orientação das Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008) e carboidratos por diferença. A fibra alimentar foi obtida através do método gravimétrico não-enzimático segundo metodologia de Li e Cardozo (1994) com adaptações de Guerra et al. (2004). O Valor Energético Total (VET) foi calculado utilizando a soma dos resultados da multiplicação dos seguintes fatores gerais de conversão: 9kcal por g de lipídios, 4kcal por g de proteínas e 4kcal por g de carboidratos e expresso em Kcal 100g^{-1} da amostra (GALISA; ESPERANÇA; SÁ, 2008).

2.6. Análise estatística

Utilizou-se o Delineamento experimental Inteiramente Casualizado (DIC), para os quatro níveis de adição de algaroba e quatro períodos de armazenamento para as variáveis físico-químicas, de oxidação, textura e colorimétricas. Os dados foram submetidos a uma Análise de Variância (ANOVA), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, através do PROC GLM do pacote estatístico SAS (SAS Institute, 2001).

As variáveis PPC, PE, cinza, acidez, fibra, atividade de água, oxidação proteica, L^* , a^* e b^* não apresentaram efeito de interação e foram analisados separadamente por efeito de inclusão de algaroba e dias de armazenamento. Os dados foram submetidos a uma ANOVA e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, através do PROC GLM e para regressão foi aplicado o PROC REG do pacote estatístico SAS (SAS Institute, 2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise microbiológica

Os hambúrgueres foram considerados aptos para consumo de acordo com a RDC nº 12 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (BRASIL, 2001). A contagem de coliformes totais a 45°C (<10 UFC/g) e *Staphylococcus spp* foi inferior aos valores máximos permitidos e a pesquisa de *Samonella sp* indicou ausência em 25 g (Tabela 8) assegurando que as formulações dos hambúrgueres foram manipuladas e armazenadas corretamente conforme as normas de Boas Práticas de Fabricação (BPF). Observou-se ainda que a adição da FGA nas formulações dos hambúrgueres não implicou, negativamente, na qualidade microbiológica dos produtos desenvolvidos.

Tabela 8. Avaliação microbiológica dos hambúrgueres adicionados de farinha dos grãos da algaroba (FGA)

Microrganismos	Formulações				PA
	F ₀	F ₂	F ₄	F ₆	Ref.
<i>Salmonella sp.</i> (UFC*/25g)	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus
<i>Staphylococcus spp.</i> (UFC/g)	>11,3x10 ²	>11,8x10 ²	>10,9x10 ²	>11,6x10 ²	5x10 ³
<i>Coliformes a 45 °C</i> (NMP*/g)	<3	3,5	<3	<3	5x10 ³

Unidade Formadora de Colônias = UFC; Número Mais Provável = NMP; PA = Padrão da RDC nº12

3.2. Constituintes dos compostos fenólicos

Os constituintes dos compostos fenólicos presentes na farinha dos grãos da algaroba encontram-se na Na Tabela 9. Observa-se que o kampferol, catequeina, ácido ursólico, quinina, ácido sinápico, formononetin e ácido gentísico, foram os ácidos fenólicos encontrados em maiores quantidades na farinha. Os compostos fenólicos são considerados fontes efetivas de antioxidantes, pois possuem alta atividade de doação de hidrogênio ou tem alta capacidade de absorver radicais livres. A atividade

antioxidante desses compostos depende de seu esqueleto estrutural e padrão dos seus grupos funcionais (BREWER, 2011).

Tabela 9. Constituintes dos compostos fenólicos da farinha dos grãos da algaroba

Ácidos fenólicos	Resultados ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Ácido Gentísico	83,14 \pm 3,99
Ácido 2,4DHBA	9,38 \pm 1,09
Ácido Vanílico	14,03 \pm 3,24
Ácido siríngico	nd
Ácido Salicílico	nd
Ácido p-cumárico	nd
Ácido m-cumárico	52,90 \pm 0,33
Ácido trans-ferrulico	15,88 \pm 1,18
Ácido Sinápico	132,74 \pm 2,84
Ácido Ursólico	233,72 \pm 0,28
Flavonóides	
Teobromina	nd
Catequina	376,52 \pm 1,34
Teofilina	9,10 \pm 2,42
Quinina	164,14 \pm 0,95
Kampferol	428,28 \pm 1,63
Rutina	94,21 \pm 2,10
Formononetin	110,40 \pm 1,71

nd: não detectado.

3.3. Estudo do armazenamento dos hambúrgueres: análises físicas, química e físico-química

A interação dos níveis de adição da farinha x os dias de armazenamento das análises de proteína, lipídeos, carboidratos, valor energético, pH, oxidação lipídica, oxidação proteica e parâmetros colorimétricos (L^* , a^* e b^*) apresentaram efeito significativo ($P < 0,05$), conforme Tabela 10.

Tabela 10. Resultados da interação dos percentuais de adição da farinha dos grãos de algaroba (FGA) x dias de armazenamento das análises químicas, físicas e físico-químicas dos hambúrgueres

Variáveis	Dias	Adição de FGA (%)				EPM	Valor de P		
		0	2	4	6		A	D	AxD
Proteína (%)	0	18,51 ^{bB}	19,28 ^{aA}	19,87 ^{aA}	18,05 ^{bC}	0,21	sig	sig	sig
	30	20,05 ^{aA}	21,44 ^{aA}	19,45 ^{aA}	19,68 ^{aA}				
	60	18,57 ^{bB}	17,62 ^{bC}	18,66 ^{bB}	18,76 ^{aA}				
Lipídios (%)	0	11,73 ^{bD}	12,51 ^{bC}	12,59 ^{bC}	12,27 ^{bC}	0,18	sig	sig	sig
	30	11,66 ^{bD}	11,93 ^{cD}	11,72 ^{cD}	11,39 ^{cD}				
	60	11,52 ^{bD}	11,40 ^{cD}	11,16 ^{cD}	11,52 ^{cD}				
Carb. (%)	0	1,63 ^{bD}	2,00 ^{bD}	2,39 ^{bD}	5,07 ^{aA}	0,26	sig	sig	sig
	30	0,10 ^{dF}	0,18 ^{dF}	3,69 ^{aC}	4,27 ^{aC}				
	60	0,77 ^{cF}	3,59 ^{aC}	3,92 ^{aC}	4,05 ^{aC}				
VET (kcal)	0	186,08 ^{bD}	197,77 ^{aB}	202,32 ^{aA}	202,88 ^{aA}	1,08	sig	sig	sig
	30	185,54 ^{bD}	194,49 ^{aB}	198,02 ^{bA}	198,38 ^{bB}				
	60	181,07 ^{cD}	187,44 ^{bC}	190,76 ^{cB}	194,93 ^{bB}				
pH	0	6,08 ^{aB}	6,10 ^{bB}	6,08 ^{bB}	5,96 ^{aC}	0,03	sig	sig	sig
	30	6,09 ^{aB}	6,14 ^{bB}	6,14 ^{bB}	5,96 ^{aB}				
	60	6,14 ^{aB}	6,17 ^{bB}	6,18 ^{aA}	5,92 ^{aC}				
OL (mgMDA/kg)	0	0,17 ^{cG}	0,22 ^{cF}	0,15 ^{cG}	0,24 ^{cF}	0,14	sig	sig	sig
	30	0,74 ^{bE}	0,94 ^{bD}	1,33 ^{bC}	0,85 ^{bD}				
	60	1,89 ^{aC}	2,61 ^{aA}	2,67 ^{aA}	2,57 ^{aA}				
OP carbonila/mg ptn) (nM)	0	6,42 ^{aB}	11,18 ^{aA}	4,90 ^{aD}	4,46 ^{bD}	1,27	sig	sig	sig
	30	2,44 ^{bE}	4,58 ^{bD}	4,10 ^{bD}	6,21 ^{aB}				
	60	5,27 ^{aC}	5,28 ^{bC}	5,39 ^{aC}	5,28 ^{aC}				
L*	0	41,27 ^{aB}	43,70 ^{aA}	41,25 ^{aB}	41,52 ^{aB}	0,55	sig	sig	sig
	30	25,83 ^{bC}	25,16 ^{bC}	25,20 ^{bC}	24,93 ^{bC}				
	60	22,52 ^{cD}	22,56 ^{cD}	22,67 ^{cD}	21,55 ^{cD}				
a*	0	11,49 ^{aA}	9,56 ^{aB}	11,52 ^{aA}	7,47 ^{bE}	0,26	sig	sig	sig
	30	9,34 ^{bB}	8,23 ^{bC}	8,45 ^{bC}	8,43 ^{aC}				
	60	5,62 ^{cD}	4,69 ^{cF}	4,47 ^{cF}	4,30 ^{cF}				
b*	0	8,52 ^{aB}	10,18 ^{aB}	11,61 ^{aA}	11,39 ^{aA}	0,61	sig	sig	sig
	30	6,52 ^{bC}	8,86 ^{bB}	10,29 ^{aB}	10,17 ^{aB}				
	60	6,40 ^{bC}	5,63 ^{cC}	8,77 ^{bB}	8,67 ^{bB}				

As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e letra maiúscula nas linhas não diferem ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey. Adição=I; Dias=D; interação Adição x dias = IxD; significativo = sig; carboidratos = carb.; Valor energético = VET; oxidação lipídica = OL; oxidação proteica = OP

O melhor teor proteína foi observado nas formulações com adição de 2 e 4% de farinha e não foi observado diferença estatística entre elas até 30 dias de armazenamento, onde a formulação com 2% de adição apresentou o maior percentual proteico (21,44%). Durante os 60 dias de armazenamento houve uma redução nos teores proteicos das formulações com 2 e 4% de adição e variação estatística ($P < 0,05$) na interação adição da FGA x dias de armazenamento, onde, o melhor tempo de armazenamento de hambúrgueres adicionados de FGA é de até 30 dias. O Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Hambúrguer (BRASIL, 2000) estabelece uma quantidade mínima de 15% de proteína. O hambúrguer adicionado de FGA apresentou percentuais proteicos que variaram de 18,05 a 21,44%, fato atribuído ao alto teor proteico presente na farinha. Huber (2012) avaliando produtos cárneos reestruturados de frango com adição de fibras em substituição gordura encontrou valor de proteína variando entre 15,9 e 19,3%. Silva (2013) encontrou valores de proteína entre 19,71 a 20,87% em estudo com adição de farinha de linhaça em hambúrgueres bovinos, resultados similares aos encontrados neste estudo.

Maqsood et al. (2012) relatam que o malonaldeído formado durante o armazenamento de produtos de carne pode ter sofrido reações intermoleculares (polimerização) e reações com outros constituintes, especialmente aminoácidos/proteínas. Contudo, a taxa de perda/desaparecimento do malonaldeído durante o armazenamento pode ter excedido a taxa de produção através da oxidação lipídica.

Os diferentes percentuais de adição (2, 4 e 6%) da FGA no hambúrguer resultaram em valores de lipídeos superiores ao encontrado na formulação controle (0% de adição de farinha) e variaram estatisticamente entre si no tempo 0, onde o maior percentual foi observado foi na formulação com 4% de adição, fato atrelado ao teor lipídico da farinha. Durante os 60 dias de armazenamento, a formulação controle não apresentou diferença estatística entre si e entre a interação dos percentuais de adição da FGA x dias de armazenamento. Já as formulações com 2, 4 e 6% de adição

apresentaram variação estatística entre si, mas consonância dos resultados obtidos na interação, indicando que os 60 dias de armazenamento garantem ao produto qualidade no tocante aos teores lipídicos. Nos dias 30 e 60 de armazenamento o valor dos lipídeos diminuíram com a adição da FGA, sem diferença estatística ($P < 0,05$) entre as formulações. Oliveira et al. (2014) analisaram a farinha de linhaça dourada como substituta de gordura em hambúrguer de carne bovina e encontraram valor médio de lipídios de 12,92%, semelhante ao encontrado com inclusão da FGA (2, 4 e 6 %) que foi de 12,31%. Além disso, todas as formulações com adição de FGA demonstraram resultados dentro do padrão estipulado pelo Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Hambúrguer (BRASIL, 2000), que estabelece uma quantidade máxima de 23% de gordura.

Com relação aos carboidratos observa-se que os valores aumentaram com a adição da FGA e diminuíram com o tempo de armazenamento, sendo que os valores maiores são na adição de 6% nos dias 0, 30 e 60 de armazenamento.

De maneira geral, o valor energético (VET) das formulações aumentou com a adição de FGA e diminuiu com o tempo de armazenamento. Em 30 dias percebeu-se uma consonância com o tempo 0 sem variação estatística ($P < 0,05$) na interação adição da FGA x dias de armazenamento para as formulações de 0, 2 e 4% de adição de farinha, onde a formulação com 4% de adição apresentou o melhor resultado (198,02). Nos 60 dias o VET para as amostras com 2 e 4 % de adição de FGA apresentaram uma redução significativa entre si e entre a interação. Logo, os melhores resultados para o VET foi durante os 30 dias de armazenamento. Paula et al (2019) encontraram um valor energético de 262,6 Kcal para hambúrguer adicionado de okara e hitake e de 198, 72 e 188 Kcal para hambúrguer adicionado de diferentes variedades soja, valores similares aos encontrados neste estudo nos diferentes tempos de armazenamento. Silva (2016) afirma que o valor energético tende a reduzir com o aumento do teor de água, corroborando com os dados de umidade, apresentados na Tabela 13.

O pH diminuiu com a inclusão da FGA e com o tempo de armazenamento. Os valores de pH para carne e produtos cárneos é: pH de 5,8 a 6,3 – carne boa para consumo; pH de 6,4 – apenas para consumo imediato (limite crítico para consumo) e pH acima de 6,4 – inícios de decomposição (TERRA; BRUM, 2008). Conforme valores observados na Tabela 12, a faixa determinada é referente à carne própria para

consumo. Os valores de pH apresentaram-se muito semelhantes e na faixa característica de produtos cárneos. A presença de um determinado componente da formulação (carne ou fibra) em maior quantidade na porção amostral avaliada pode ter implicado nas pequenas variações obtidas (HUBER, 2012).

Alguns autores vêm testando estratégias tecnológicas para o controle de oxidação de lipídios e proteínas em carne e produtos cárneos. Lima Junior et al. (2013) avaliaram a eficiência na inserção de substâncias com atividade antioxidante na formulação de produtos cárneos e a adição de compostos fenólicos de extratos vegetais. Estévez (2011) e Lund et al. (2011) afirmaram a importância na redução da exposição da carne ao oxigênio molecular através do uso de embalagens com atmosfera modificada. A inibição da oxidação lipídica previne a degradação oxidativa das proteínas por minimizar a formação de compostos secundários da oxidação lipídica e, conseqüentemente, a sua interação com proteínas para formação de compostos carbonílicos. Tais artifícios têm sido utilizados no controle da oxidação lipídica em produtos à base de carne (DEL RÉ e JORGE, 2012, GANHÃO; MORCUENDE; ESTÉVEZ, 2010; VILJANEN; KIVIKARI; MERCIER et al., 1998).

A oxidação lipídica apresentou o efeito significativo ($P < 0,05$) para a interação percentual de adição de farinha X tempo de armazenamento, onde os maiores valores de oxidação foram encontrados no tempo 60, indicando que com o passar dos dias as amostras sofreram um efetivo o efeito oxidativo. Com relação à interação, a adição de diferentes percentuais de farinha não foi eficiente, pois, o melhor valor da oxidação durante o armazenamento foi na formulação com 0% de adição. Ou seja, a adição de farinha na tentativa de minimizar o efeito da oxidação lipídica no armazenamento dos hambúrgueres não foi eficiente, uma vez que as formulações com adição de farinha apresentaram o mesmo comportamento da amostra com 0% de adição, com resultados ainda maiores.

O'Keefe e Wang (2006) trabalhando com extrato de pele do amendoim (EPA) aplicado em hambúrguer observaram que em lotes de carne moída produzidos com 200ppm ou mais do extrato foi observada uma redução na oxidação lipídica em comparação com o controle durante 14 dias de armazenamento (4, 6 vs 10 mg MDA/kg), diferentemente do observado neste estudo. Percebe-se que a adição de farinha dos grãos da algaroba em formulação de hambúrguer não foi uma prática

efetiva como antioxidante natural nas condições estudadas. Choe e Min (2009) afirmaram que a aplicação de antioxidantes naturais é um desafio, uma vez que está relacionado com o perfil de ácidos graxos, presença de compostos voláteis e fenólicos, além da estrutura e funcionalidade dos antioxidantes presentes na matéria-prima.

A oxidação proteica apresentou o melhor comportamento no trigésimo dia de armazenamento, onde se observou uma redução nos resultados, quando comparados ao tempo zero, para os diferentes percentuais de adição de farinha. Porém, os resultados obtidos para as formulações com 2, 4 e 6% (4,58, 4,10 e 6,21 nM carbonila/kg) de adição foram superiores aos obtidos pela amostra com 0% (2,44 nM carbonila/kg), o que indica que a concentração da farinha não foi eficiente para diminuir o efeito oxidativo das proteínas nas formulações. Para os sessenta dias de armazenamento o valor da oxidação aumentou para todos os percentuais de adição, não apresentando diferença estatística entre os tratamentos.

Em relação ao conteúdo de carbonilas, a concentração pode estar próxima a 1nmol/mg de proteína em proteínas não oxidadas. No entanto, em decorrência da oxidação lipídica e de outros fatores pró-oxidantes, o conteúdo de carbonilas pode subir para valores na faixa de 2 a 14 nmol/mg de proteína (ROWE et al., 2004). Tal consideração é condizente com os resultados observados neste estudo, onde houve um aumento da oxidação lipídica durante os 60 dias de armazenamento.

O valor da luminosidade (L^*) apresentou variação estatística ($P < 0,05$) com a adição da FGA. Com o passar dos dias de armazenamento o valor diminuiu em torno de 51%. Resultado contrário ao que foi observado por Gusmão (2015), pois a medida que adicionava farinha da vagem de algaroba na elaboração dos biscoitos a luminosidade aumentava.

O valor de a^* diminuiu em torno de 63% com a inclusão de farinha de algaroba e com o tempo de armazenamento. O valor de b^* aumentou com a inclusão de algaroba e diminuiu com o tempo de armazenamento. Gusmão (2015) observou que o valor de a^* e de b^* para a formulação dos biscoitos com 5% de farinha de algaroba diminuiu até os 60 dias de armazenamento. Os Valores de intensidade de amarelo da farinha de trigo acondicionada em sacos de polietileno de baixa densidade a temperatura ambiente, foram reduzidos significativamente com o tempo de armazenamento de acordo com Gutkoski et al. (2007). Esses pesquisadores atribuíram as alterações ao processo de

maturação da farinha com o aumento do tempo de armazenamento; a maturação da farinha ocorre a partir da oxidação das proteínas do glúten e dos pigmentos carotenoides. Lima et al. (2008) verificaram que não houve variação estatística nas médias da intensidade de vermelho de grãos de milho nem do farelo de soja acondicionado em armazém, a temperatura ambiente, com teor de água inicial de 10,86 e 12,70%, respectivamente, durante 28 dias de armazenamento.

A Perda de Peso por Cozimento (PPC), Percentual de Encolhimento (PE), umidade, cinzas, acidez e fibra apresentaram efeito significativo ($P < 0,05$) para a adição da FGA na elaboração de hambúrguer. Com exceção da PPC, as demais variáveis apresentaram valores mais altos no nível de 6% (Tabela 11). As variáveis PPC, PE, Umidade, cinzas, acidez e fibra apresentaram efeito regressivo quadrático.

Tabela 11. Resultado dos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos dos hambúrgueres em função da adição da farinha dos grãos da algaroba (FGA)

Variáveis	Percentuais de adição da FGA (%)				EPM	Valor de P	
	0	2	4	6		Linear	Quadr.
PPC	74,03 ^a	66,16 ^c	71,88 ^b	71,61 ^b	1,65	0,7570	0,0003 ¹
PE	13,27 ^b	22,72 ^a	23,75 ^a	24,87 ^a	1,85	<.0001	<.0001 ²
Umidade (%)	65,63 ^a	63,84 ^b	62,73 ^c	61,83 ^d	0,53	<.0001	0,0159 ³
Cinzas (%)	2,86 ^b	2,82 ^{bc}	2,78 ^c	3,15 ^a	0,06	0,0001	<.0001 ⁴
Acidez (%)	7,90 ^b	7,85 ^c	7,92 ^b	8,52 ^a	0,04	<.0001	<.0001 ⁵
Fibra (%)	0,00 ^d	0,34 ^c	0,48 ^b	0,54 ^a	0,03	<.0001	<.0001 ⁶

Letras minúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; Perda de Peso por Cozimento = PPC; Percentual de encolhimento = PE; erro padrão da média = EPM; quadrática = Quadr.; ¹ $Y=73,06-2,93x+0,48x^2$ ($R^2=0,41$); ² $Y=13,70+4,92x-0,52x^2$ ($R^2=0,84$); ³ $Y=65,60-0,96x+0,006x^2$ ($R^2=0,89$); ⁴ $Y=2,88-0,11x+0,03x^2$ ($R^2=0,80$); ⁵ $Y=7,92-0,15x+0,04x^2$ ($R^2=0,96$); ⁶ $Y=0,007+0,19x-0,01x^2$ ($R^2=0,98$).

A PPC diminuiu seu percentual nas formulações com adição de 4 e 6% de FGA, sem variação estatística ($P < 0,05$) entre elas. Bomdespacho (2010) analisaram o emprego de farinha de Okara em hambúrguer de frango e verificou que à medida que se adicionava a Okara, os valores de encolhimento tendiam à redução, contrariando os resultados obtidos neste estudo.

A água é o maior constituinte da carne (60% a 80%) e a habilidade da mesma em reter esta umidade é muito importante para a manutenção das propriedades funcionais e durante o armazenamento. Novello e Pollonio (2013) ao desenvolverem e analisarem hambúrguer de carne bovina adicionado de farinha de semente de linhaça dourada encontraram teores de umidade superior (68,61%). Quando a umidade é perdida, rendimento, maciez, textura, sabor e valores nutricionais são afetados negativamente.

Os resultados das cinzas variaram de 2,80 a 3,15%, ou seja, um aumento de 11%. Melo e Clerice (2013) que em seu estudo sobre elaboração de hambúrguer bovino adicionado de semente de chia, encontraram valores de cinzas variando entre 3,5 a 3,9%, sendo a amostra controle, sem adição de semente de chia, a que apresentou o maior teor de cinzas (3,9%).

Observa-se que a adição da FGA aumentou no mínimo 36 vezes o valor de fibra bruta do hambúrguer controle (0% de adição da farinha), corroborando resultados encontrados por Huber (2012) no seu estudo sobre a adição de fibras vegetais de bambu, trigo e ervilha em produtos cárneos reestruturados de frango (hambúrguer e empanado), que tiveram seu teor de fibra aumentado, em no mínimo, quatro vezes em relação ao produto convencional, sem adição de fibras. Viuda-Martos et al. (2010) observaram que a adição de 0,5% a 2% de fibras de laranja produziu um efeito antioxidante em produto cárneo mortadela, comprovando as propriedades antioxidantes dos compostos bioativos (polifenóis, carotenos) das fibras oriundas de citrus.

A atividade de água (A_w) apresentou diferença significativa ($P < 0,05$) em função do tempo de armazenamento e também apresentou efeito regressivo quadrático, conforme Tabela 12.

Tabela 12. Resultado atividade de água em função dos dias de armazenamento

Variáveis	Dias de armazenamento			EPM	Valor de P	
	0	30	60		Linear	Quadr.
A_w	0,96 ^b	0,99 ^a	0,99 ^a	0,010	<.0001	<.0001 ¹

Letras minúsculas diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; Perda de peso por cozimento = PPC; Percentual de encolhimento = PEN; atividade de água = a_w ; erro padrão da média = EPM; quadrática = Quadr.; $^1Y=0,96+0,0008x-0,000007x^2$ ($R^2=0,76$).

A atividade de água aumentou com os dias de armazenamento com valores elevados, variando entre 0,96 e 0,99. Entretanto, esses valores não representam um risco de contaminação para os alimentos, pois estes são armazenados congelados e retirados da refrigeração apenas no momento de preparo e consumo, não comprometendo sua conservação. Huber (2012) desenvolveu produtos cárneos reestruturados de frango adicionado de fibras vegetais como substituto total de gordura e observaram que a atividade de água se manteve entre 0,98 a 0,99.

Com relação à análise de textura, os parâmetros de dureza, mastigabilidade e adesividade apresentaram efeito significativo ($P < 0,05$) para interação adição de farinha de algaroba e tempo de armazenamento (Tabela 13). Observa-se que a inclusão de 4 e 6% de algaroba diminuiu o valor a dureza dos hambúrgueres e tempo de armazenamento faz esse valor diminuir.

Tabela 13. Perfil de textura (TPA) dos hambúrgueres em função da interação adição de farinha dos grãos de algaroba (FGA) e tempo de armazenamento

Adição de FGA (%)	Tempo	Dureza	Mastigabilidade	Adesividade
0	0	103,58 ^{aB}	74,77 ^{aB}	0,07 ^{aA}
	30	116,60 ^{aB}	86,83 ^{aAB}	0,05 ^{aB}
	60	79,66 ^{aB}	59,94 ^{aB}	0,06 ^{aB}
2	0	81,28 ^{bB}	61,71 ^{bB}	0,04 ^{bBC}
	30	154,84 ^{aA}	118,96 ^{aA}	0,15 ^{aA}
	60	69,96 ^{bB}	55,64 ^{bB}	0,06 ^{bAB}
4	0	73,20 ^{aB}	43,77 ^{aC}	0,06 ^{aAB}
	30	72,41 ^{aB}	48,76 ^{aC}	0,06 ^{aAB}
	60	71,78 ^{aB}	49,40 ^{aC}	0,05 ^{aAB}
6	0	84,82 ^{aB}	61,76 ^{aC}	0,06 ^{aAB}
	30	102,25 ^{aA}	61,47 ^{aC}	0,06 ^{aAB}
	60	61,11 ^{aB}	46,60 ^{aC}	0,05 ^{aAB}
EPM		25,78	21,56	0,04
Valor de P				
Adição		<.0001	<.0001	0,1113
Tempo		<.0001	<.0001	0,2225
Adição*tempo		0,0014	0,0030	0,0272

As médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro da adição e maiúscula entre os tempos nas colunas não diferem no nível de probabilidade 0,05 pelo teste de Tukey; EPM=erro padrão da média

De todos os atributos que contribuem para a qualidade da carne durante o ato de degustação, a textura é um dos mais importantes para determinar aceitabilidade e satisfação do consumidor, sendo a maciez (dureza) o atributo da textura que os consumidores mais apreciam (RAMOS; GOMIDE, 2007).

No parâmetro dureza, não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras de 0, 4 e 6%, logo a força requerida para a compressão entre os dentes molares foi igual para estas três as formulações (GONÇALVES E MAGALHÃES, 2018).

Os menores valores de mastigabilidade estão nas formulações 4 e 6% de adição de FGA em todos os tempos, condizente com os resultados encontrados para o

parâmetro dureza. Já a adesividade apresentou os menores valores no tempo 0 e 60 da formulação de 2%.

Rosa et al. (2010) avaliaram a qualidade tecnológica de apresuntado adicionado de farinha de *yacon* (*Smallanthus sonchifolius*), tendo como objetivo o desenvolvimento de um produto curado cozido, tipo apresuntado, com apelo funcional. O produto elaborado com farinha de *yacon* apresentou propriedades diferentes do apresuntado controle, tendo maior rendimento de processo (menor perda de peso), uma tonalidade mais amarelada e perfil de textura com maior dureza, coesividade e mastigabilidade.

Os parâmetros rigidez, coesividade, elasticidade e resiliência apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$) em função da adição da FGA na elaboração do hambúrguer, conforme Tabela 14.

Tabela 14. Perfil de textura dos hambúrgueres elaborados com diferentes percentuais de adição de farinha dos grãos de algaroba (FGA) em função do tempo de armazenamento

Variáveis	Rigidez	Coesiv.	Elastic.	Res.	EPM
Percentual de adição da FGA (%)					
0	0,03	0,79 ^{bc}	0,90 ^{ab}	0,28 ^b	0,09
2	0,02	0,84 ^a	0,91 ^a	0,32 ^a	0,05
4	0,07	0,76 ^c	0,87 ^c	0,27 ^b	0,03
6	0,02	0,82 ^{ab}	0,89 ^{bc}	0,33 ^a	0,04
Tempo de armazenamento					
0	0,03	0,79	0,90	0,31	0,10
30	0,02	0,79	0,90	0,29	0,06
60	0,04	0,81	0,90	0,32	0,03

Letras minúsculas diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; erro padrão da média=EPM

As amostras analisadas não apresentaram a mesma extensão de deformação antes da ruptura, ou seja, o grau de compressão das amostras entre os dentes antes de romper apresentou relação direta com o percentual de adição da farinha. Portanto, houve influência significativa da adição de farinha de algaroba para os parâmetros de coesividade, elasticidade e resiliência. Na formulação com 4% de adição da FGA observaram-se os menores valores para coesividade, elasticidade e resiliência.

A coesividade não teve diferença estatística para as formulações com 2 e 6% de adição de FGA. Trata-se de um parâmetro primário de textura e é definido como a capacidade do alimento de resistir ao rompimento ao ser comprimido entre os dentes (molares) semelhante ao que ocorre quando uma pessoa morde um alimento, ou seja, a extensão que o material pode ser deformado antes de romper.

A formulação com 4% de FGA foi a que apresentou o menor valor para a elasticidade, não variando estatisticamente da amostra com 6% de adição, sendo as amostras elásticas e tendo a mesma resistência para voltar a forma original após a compressão. A elasticidade serve para medir a capacidade de retorno do alimento a sua forma original quando deformado (CHEN; OPARA, 2013). Trevisan et al. (2016) não observaram diferença significativa ($p < 0,05$) para este parâmetro quando comparou formulação de hambúrguer padrão, com adição de gordura, e outras no produto no qual esta foi substituída por farinha de aveia.

4. CONCLUSÕES

A adição da FGA em diferentes concentrações nos hambúrgueres não foi eficiente para retardar a oxidação lipídica durante o armazenamento, uma vez que as formulações adicionadas com 2, 4 e 6% de FGA tiveram uma maior ação oxidativa do que a formulação com 0% de adição. Com relação à oxidação proteica, a adição da farinha apresentou uma redução durante os primeiros 30 dias de armazenamento. Porém, ao longo do tempo, a concentração da farinha não foi eficiente para diminuir o efeito oxidativo das proteínas nas formulações. Contudo, o fato da FGA não ter diminuído a oxidação ao longo do armazenamento, não quer dizer que o material não tem efeito antioxidante. Tal fato pode estar relacionado com a grande quantidade de compostos fenólicos presente na farinha e até com a estrutura físico-química do material.

Com relação às características físico-químicas, as formulações com 2 e 4% de adição de FGA se destacaram no armazenamento quanto a avaliação das proteínas, lipídeos, carboidratos e VET. O PPC, PE, umidade, cinzas, acidez e fibra apresentaram efeito significativo com a adição da FGA e a atividade de água com o tempo de armazenamento. No perfil de textura, as variáveis dureza, mastigabilidade e adesividade variaram de acordo com o percentual de adição da FGA. Contudo, os melhores resultados foram obtidos durante os 30 dias de armazenamento e com as adições de 2% e 4% de farinha, garantindo com isso a qualidade físico-química do produto.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, G.N. et al. Effect of organic acids on the quality of sheep “buchada”: From food safety to physicochemical, nutritional, and sensorial evaluation. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, e13877, 2019.
- ÁLVAREZ, D.; BARBUT, S. Effect of inulin, β -glucan and their mixtures on emulsion stability, color and textural parameters of cooked meat batters. **Meat Science**, Barking, v. 94, n. 3, p. 320-327, 2013.
- APHA - American Public Health Association. **Compendium of methods of the microbiological examination of foods**. 4th. Edition. Washington D.C., 676p, 2001.
- AOAC INTERNATIONAL. **Official Methods of Analysis of AOAC** International, 18th ed., Gaithersburg: AOAC International, 2005.
- BARBI, R.C.T. et al. Food Hydrocolloids. *Eriobotrya japonica* seed as a new source of starch: Assessment of phenolic compounds, antioxidant activity, thermal, rheological and morphological properties. **Elsevier Ltd**. v. 77, p. 646-658, 2018.
- BARRETTO, A. C. S.; PACHECO, M. T. B.; POLLONIO, M. A. R. Effect of the addition of wheat fiber and partial pork back fat on the chemical composition, texture and sensory property of low-fat bologna sausage containing inulin and oat fiber. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 35, n. 1, p. 100-107, 2015.
- BOMDESPACHO, L. O emprego de okara no processamento de “hambúrguer” de frango fermentado com *Lactobacillus acidophilus*. **Alimentação e Nutrição**, Araraquara, v. 22, n.2, p. 315-322, abr./jun.2010.
- BOURNE, M. C. Texture Profile Analysis. **Food and Nutrition Science**, v. 6, nº 7, p. 62-67, 1978.
- BORBA, C. M. et al. Diferentes processamentos de hambúrguer bovino e de frango. **Brazilian Journal of Food and Nutrition**, Araraquara, v. 24, n. 1, p. 01-07, 2013.
- BORTNOWSKA, G. et al. Stability and physicochemical properties of model salad dressings prepared with pre gelatinized potato starch. **Carbohydrate Polymers**, Oxford. v. 111, p. 624-632, 2014.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa nº 20/2000. **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Hambúrguer**. Disponível em: <<http://site.sindicarnes-sp.org.br/wp2/wp-content/uploads/2016/11/HAMBURGUER.pdf>>. Acesso em: 12/12/2019.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001. **Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasil, n. 7-E, p. 46-53, 10 jan. 2001. Seção I.

BRASIL - Ministério da Saúde. Agência de Vigilância Sanitária. Resolução N° 263 de 22 de setembro de 2005. **Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 de setembro de 2005a.

BREWER, M. S. Natural Antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications. **Food Science and Food Safety**, v. 10, n. 4, p. 221–247, 2011.

COFRADES, S. et al. Oxidative stability of meat systems made with W1/O/W2 emulsions prepared with hydroxytyrosol and chia oil as lipid phase. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 59, n. 2, p. 941-947, 2014.

CONTINI, C, et al. Effect of an active packaging with citrus extract on lipid oxidation and sensory quality of cooked turkey meat. **Meat Science**, v.96, p.1171-1176, 2014.

CHOE, E.; MIN, D. B. Mechanisms of antioxidants in the oxidation of foods. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 8(4), 345-358. 2009

CHEN e OPARA. **Abordagens para análise e modelagem de textura em alimentos in natura e processados - Uma revisão**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/249313883_Approaches_to_analysis_and_modeling_texture_in_fresh_and_processed_foods_-_A_review>. Acesso em: 18/01/2020.

CHOE, J. H. et al. Quality of frankfurter-type sausages with added pig skin and wheat fiber mixture as fat replacer. **Meat Science**, Barking, v. 93, n. 4, p. 849-854, 2013.

DEL RÉ, P.V.; JORGE, N. Especiarias como antioxidantes naturais: aplicações em alimentos e implicação na saúde. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.14, n.2, p. 389–399, 2012.

ESTÉVEZ, M. Protein carbonyls in meat systems: a review. **Meat science**, v. 89, n. 3, p. 259–279, nov, 2011.

ESTÉVEZ, M.; CAVA, R. Lipid and protein oxidation, release of iron from heme molecule and colour deterioration during refrigerated storage of liver pâté. **Meat science**, v. 68, p. 551–558, 2004.

ESTÉVEZ, M. et al. Protein Carbonylation and Water-Holding Capacity of Pork Subjected to Frozen Storage: Effect of Muscle Type, Premincing, and Packaging. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 10, p. 5435-5443, abr, 2011.

GALISA, M.S.; ESPERANÇA, L.M.B.; SÁ, N.G. **Nutrição-conceitos e aplicações**. São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda, 258p, 2008.

- GANHÃO, R.; MORCUENDE, D.; ESTÉVEZ, M. Protein oxidation in emulsified cooked burger patties with added fruit extracts: Influence on colour and texture deterioration during chill storage. **Meat science**, v. 85, n. 3, p. 402–409, jul. 2010.
- GONÇALVES, L.D.A.; MAGALHÃES, G.L. Hambúrguer bovino com substituição da gordura por farinha da casca de maracujá. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.13, Nº 4, p. 489-494, 2018.
- GUERRA, N.B. et al. Modificações do método gravimétrico não enzimático para determinar fibra alimentar solúvel e insolúvel em frutos. **Revista de Nutrição**, Campinas, v.17(1), p. 45-52, jan/mar, 2004.
- GUTKOSKI, L. C. et al. Armazenamento da farinha de trigo enriquecida com ferro e ácido fólico e seu efeito na produção de pão de forma. **Alimentos e Nutrição**, v.18, n.1, p.93-100, 2007.
- HUBER, E. **Desenvolvimento de produtos cárneos reestruturados de frango (hambúrguer e empanado) com adição de fibras vegetais como substitutos totais de gordura**. 2012. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis. 2012.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 5. ed. São Paulo. 1020 p. 2008.
- KHAN, I. et al. Effect of sorghum flour addition on resistant starch content, phenolic profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta. **Food Research International**, Vol. 54, p. 578–586, 2013.
- KTARI, N. et al. Chemical composition, techno-functional and sensory properties and effects of three dietary fibers on the quality characteristics of Tunisian beef sausage. **Meat Science**, Barking, v. 96, n. 1, p. 512-525, 2014.
- LI, B.W; CARDOZO, M. S. Nonenzymatic-gravimetric determination of dietary fiber in fruits and vegetables. **J AOAC Int**; v. 77(3), 687-9, 1994.
- LIN, K. W.; CHAO, J. Y. Quality characteristics of reduced-fat chinese-style sausage as related to chitosan's molecular weight. **Meat Science**, [s.l.], v. 59, n. 4, p. 343-351, 2001.
- LIMA JUNIOR, D. M. et al. Oxidação lipídica e qualidade da carne ovina. **Acta Veterinaria Basílica**, v.7, n.1, p. 14-28, 2013.
- LIMA, I. F. et al. Avaliação físico-química de grãos de milho e farelo de soja em diferentes tempos de armazenamento. **In: Jornada Nacional da Agroindústria**, 3, 2008, Bananeiras. Anais... Bananeiras: UFPB, 2008. CD-Rom

LOUZADA, M. L. C. et al. Ultraprocessed foods and the nutritional dietary profile in Brazil. **Revista de Saúde Pública**, v. 49, p. 49:38, jul, 2015;

LUND, M. N. et al. Protein oxidation in muscle foods: a review. **Molecular Nutrition & Food Research**, v.55, p.83-95, 2011.

MAQSOOD, S. et al. Effect of tannic acid and kiam wood extract on lipid oxidation and textural properties of fish emulsion sausages during refrigerated storage. **Food Chemistry**, v. 130, p. 408-416, 2012.

MELO, L. F. et al. Qualidade higiênico-sanitária da carne de hambúrguer Industrializada. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 10, n. 2, p. 370-375, ago./dez. 2012

MELO, L. S. M.; CLERICI, M. T. P. Desenvolvimento e Avaliação Tecnológica, Sensorial, e Físico-química de Produto Carne, Tipo Hambúrguer, com Substituição de Gordura por Farinha Desengordurada de Gergelim. **Brazilian Journal of Food & Nutrition**, v. 24, n. 4, 2013.

O'KEEFE, S. F.;WANG, H. Effects of peanut skin extract on quality and storage stability of beef products. **Meat Science**, Amsterdam, v.73, n.2, p.278-286, 2006.

OLIVEIRA, D. F; et al. Alternativas para um produto cárneo mais saudável: Uma revisão. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, p. 163-174, 2013.

PAULA, G. T.; et al. Desenvolvimento de uma formulação do “tipo hambúrguer” de okara com shitake. **Semioses: Inovação, Desenvolvimento e Sustentabilidade**, v.13, n.1, jan./mar. 2019.

RAMOS, E. M.; GOMIDE, L. A. M. **Avaliação da qualidade de carnes: fundamentos e metodologias**. Viçosa: UFV, 2007. 599p.

ROSA, G.R. et al. **Caracterização da qualidade tecnológica de apesuntado adicionado de farinha de Yacon (*Smallanthus Sonchifolius*)**. Anais...XIX Congresso de pós-graduação da UFLA , 2010.

ROSMINI, M. R. et al. Test by an extractive method applied to 'paté'. **Meat Science**, [s.l.], v. 42, n. 1, p. 103-110, 1996.

ROWE, L.J. et al. Influence of early post-mortem protein oxidation on beef quality. **Journal of Animal Science**, Champaing, v.82, n.3, p. 785-793, 2004.

RUTO, M. C. et al. Antioxidant activity and antimicrobial properties of *Entada leptostachya* and *Prosopis juliflora* extracts. **Journal of Medicinal Plants for Economic Development**. v. 2, p. 1-8, 2018.

SALCEDO-SANDOVAL, L. et al. Healthier oils stabilized in konjac matrix as fat replacers in n-3 PUFA enriched frankfurters. **Meat Science**, Barking, v. 93, n. 3, p. 757-786, 2013.

SILVA, C. G. **Avaliação química e antioxidante da farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) e sua aplicação na elaboração de hambúrguer**. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.

SILVA, C. E. **Elaboração e avaliação de hambúrgueres de carne bovina com substituições de toucinho por farinha de linhaça**. 2013. 54 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Alimentos) - Curso de Mestrado Profissional em Tecnologia de Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

SOUSA, E.P. et al. Caracterização físico-química da polpa farinácea e semente do jatobá. Revista Verde de **Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.7, n.2, p. 117-121, 2012.

SCHMIELE, M. et al. Dietary fiber as fat substitute in emulsified and cooked meat model system. **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 61, n. 1, p. 105-111, 2015.

SAYAS-BARBERÁ, E. et al. Effect of the molecular weight and concentration of chitosan in pork model burgers. **Meat Science**, [s.l.], v. 88 n.4, p. 740-749, 2011.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS. (2001). General linear model: 9.0. SAS Institute Cary, NC.

TOMASCHUNAS, M. et al. Changes in sensory properties and consumer acceptance of reduced fat pork Lyon-style and liver sausages containing inulin and citrus fiber as fat replacers. **Meat Science**, Barking, v. 95, n. 3, p. 629-640, 2013.

TERRA, N. N.; BRUM, M. A. R. **Carne e seus derivados – técnicas de controle de qualidade**. São Paulo: Nobel, 2008.

VIUDA-MARTOS, M. et al. effect of added citrus fibre and spice essential oils on quality characteristics and shelf-life of mortadella. **Meat Science**, v. 85, n. 3, p. 568-576, 2010.

TREVISAN, Y. C. et al. Efeito da adição de fibra de aveia sobre as propriedades físico-químicas de hambúrguer cozido e congelado com redução de gordura e sal. **Brazilian Journal food Technology**, v. 19, e201507, 2016.

VILJANEN, K., KIVIKARI, R., HEINONEN, M. Protein-lipid interactions during liposome oxidation with added anthocyanin and other phenolic compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 1104-1111, 2004.

WILKINS, L. J. et al. Variation in colour broiler breast fillets in the UK. **Br. Poult Sci.** v. 14, p.308-312, 2000.

CONCLUSÕES

As farinhas obtidas a partir dos grãos da algaroba apresentaram quantidades relevantes de proteínas, fibras, compostos bioativos, atividade antioxidantes e boas características físicas e tecnológicas para aplicação em alimentos. Dente as três farinhas produzidas, a farinha obtida através da secagem na temperatura de 60°C apresentou as melhores condições para aplicação em hambúrguer.

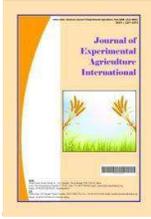
A quantidade da FGA utilizada nas formulações do hambúrguer, mesmo em diferentes concentrações e sem combinação com outros aditivos químicos, não foi eficiente para o retardamento da oxidação lipídica durante os 60 dias de armazenamento. Com relação a oxidação proteica, percebeu-se uma redução na oxidação dos produtos adicionados da FGA durante os 30 dias de armazenamento, quando comparadas a amostra controle (0% de adição de FGA). Ao final do armazenamento (60 dias) essa oxidação foi percebida de maneira mais intensa em decorrência das características das farinhas (grande quantidade de compostos fenólicos e presença expressiva de proteínas), o que corroborou com o efeito pró-oxidante. Com relação as características físico-químicas, durante os 30 dias de armazenamento entre as formulações com 2 e 4% de adição de FGA, houve uma preservação nos teores de proteínas, lipídeos, carboidratos e VET, quando comparados aos encontrados inicialmente nas amostras. No perfil de textura, as variáveis dureza, mastigabilidade e adesividade variaram de acordo com o percentual de adição da FGA.

Diante dos resultados obtidos neste trabalho, percebe-se que a adição de FGA (2% e 4%) exerceu efeito antioxidante durante um armazenamento de 30 dias para formulações de hambúrguer sem adição de conservantes químicos, com preservação das características físico-químicas e qualidade do produto.

ANEXOS

ANEXO 1. Evaluation of the Antioxidant Potential of Mesquite Grains Flour in Hamburger Meat Product (Página 77).

ANEXO 2. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos da algaroba (Página 91).



Journal of Experimental Agriculture International

41(3): 1-14, 2019; Article no.JEAI.51201

ISSN: 2457-0591

(Past name: American Journal of Experimental Agriculture, Past ISSN: 2231-0606)

Evaluation of the Antioxidant Potential of Mesquite Grains Flour in Hamburger Meat Product

Atacy Maciel de Melo Cavalcante^{1*}, Osvaldo Soares da Silva¹, Genésio José da Silva Neto², Anely Maciel de Melo³ and Neila Lidiany Ribeiro⁴

¹Departamento de Engenharia de Alimentos, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos (PPGEP), Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia, Campina Grande, Paraíba, Brasil.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Campus Barreiros, Pernambuco, Brasil.

³Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos (PPGEA), Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico, Curitiba, Brasil.

⁴Pesquisadora do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), Campina Grande, Paraíba, Brasil.

Authors' contributions

This work was carried out in collaboration among all authors. All authors read and approved the final manuscript.

Article Information

DOI: 10.9734/JEAI/2019/v41i330399

Editor(s):

(1) Dr. Ismail Seven, Assistant Professor, Department of Plantal and Animal Production, Vocation School of Sivrice, University of Firat, Turkey.

(2) Dr. Nazimah Maqbool, Professor, Department of Botany, University of Agriculture, Pakistan.

(3) Lanzhuang Chen, Professor, Laboratory of Plant Biotechnology, Faculty of Environment and Horticulture, Minami Kyushu University, 3764-1, Tateno-Cho, Miyakonojo City, Miyazaki, 885-0035, Japan.

(4) Dr. Daniele De Wrachien, Full Professor, Department of Irrigation and Drainage, State University of Milan, Italy.

Reviewers:

(1) Wafaa Abd El-Ghany Abd El-Ghany, Cairo University, Egypt.

(2) Elisa Julianti, University of North Sumatra, Indonesia.

(3) Adib Saad, Tishreen University, Syria.

Complete Peer review History: <http://www.sdiarticle4.com/review-history/51201>

Received 04 August 2019

Review Article

Accepted 12 October 2019

Published 23 October 2019

ABSTRACT

Aims: The objective is to approach the use of the flour of the mesquite grains in restructured hamburger meat product formulations.

Introduction: The mesquite seed is a by product of great nutritional value and little use in large scale for food purposes, being considered, also, discarding raw material in the processing of the mesquite pod. The seeds represent an agroindustrial byproduct with broad technological and

*Corresponding author: E-mail: atacymaciel@hotmail.com;

nutritional potential, with some applications already tested and widespread in the food and environmental sector. The high sugar content associated with the high levels of nitrogen in the mesquite tree pods favours the biochemical processes and enables the production technology of alcohol, spirits, liquor, wine, honey, enzymes, acids, gums, vinegar, sugars and even a substitute drink for coffee. In some Andean countries, other beverages such as lodge, chicha, etole and algarobina (a type of stomach and aphrodisiac fortifier), flour, biscuit and cookies are made. The physicochemical characteristics of the hamburger should contain a maximum fat content of 23.0%, a minimum of 15% protein, 3% total carbohydrates and calcium content (maximum dry basis) 0,1% in raw hamburger and 0.45% cooked hamburger.

Conclusion: The use of resources to reduce the disadvantages related to the addition of fibre in meat products should be studied in order to obtain the benefits of this addition without compromising the acceptability and quality of the final product, besides allowing a greater addition of mesquite seed in order to achieve the requirements for a functional product.

Keywords: Fibre; fat; mesquite flour; restructured meat.

1. INTRODUCTION

With the dissemination of information, the consumer has increasingly demanded products that are practical, hygienically correct and with nutritional quality, promoting an increase in competitiveness among the industries, which leads to the increasing demand in the process of choosing the products. Due to the demand for low-fat products, the food industry and research institutes are intensifying the development of new formulations or modifications of traditional products to create alternatives to reduce fat content [1].

Among the many options available, red meat stands out as one of the main sources of proteins of high biological value, B vitamins and minerals such as iron and zinc. However, it is associated with a negative health image due to its high saturated fat content, is related to coronary diseases and cancer. The resolution 408 of 2008, of the Ministry of Health, was created to support and stimulate the promotion of healthy eating with impact on the reversal of the obesity epidemic and prevention of chronic non-communicable diseases, with a review of the patterns of identity and food quality, aiming to reduce the amounts of sugar, sodium, saturated fats and elimination of trans fats, making them compatible with a healthy standard of living [2].

The development of functional meat products, from the addition of dietary fibres, preserving the sensorial characteristics like colour and texture, can be a stimulus to the introduction of healthy foods in the diet of the consumers. Rapidly prepared foods of great popular variety, such as restructured meat products, have become

objects of study in this area [3]. Various types of vegetable fibres have been individually evaluated or combined with other ingredients in reduced fat meat product formulations, such as restructured and emulsified products. This alternative could indirectly promote greater consumption of fibre by consumers, who even knowing the benefits of this nutrient have not yet incorporated it into their eating habits.

Due to the high antioxidant and protein activity in its composition, the mesquite seed presents a difference when compared to other seeds of commercial use. Its use in the form of flour is a viable alternative for the integral use of the pod of the mesquite, since obtaining it requires technological processes accessible to the small producer, in addition to the possibility of a larger consumption when compared to consumption only in nature. The production of a product of greater value-added from the seed of the mesquite can contribute to the generation of income of the producing region, improving the quality of life of the population. The objective is to address the use of mesquite seed meal in hamburger-type restructured meat product formulations.

2. MESQUITE (*Prosopis juliflora* Sw. DC)

The evolutionary development of the mesquite species of the genus *Prosopis* originated in the African continent (Tropical Africa), where *Prosopis africana* persists. Their migration to the American continent occurred when these continents were linked, involving different species adapted to the dispersion at a short distance, but of effective endozoic diffusion, through birds and mammals [4].

The genus *Prosopis* is a vegetable belonging to the subfamily Mimosoideae, native to North and South America, where most of the 44 known species of the genus *Prosopis* are found. These species are capable of surviving and producing in soil areas of low humidity, high temperature, high evapotranspiration and high precipitation, they present great resistance to salinity, having a high capacity to fix nitrogen [5].

The mesquite tree (*Prosopis juliflora* Sw. DC) is a xerophilous whose tortuous stem measures about 6 to 8 meters in height, being able to reach up to 18 meters, the stem has a thick, slender, reddish-brown, sinuous and twisted bark. The crown may reach 6 to 20 meters in height and 0,45 to 1,00 meters in diameter, with a brown colour, armed with axillary spines, solitary or twin, rarely unaltered, housed on both sides of the nodes and branches [4].

It is an exotic species and resistant to the conditions of climatic severity, manifested in arid and semi-arid areas. It was introduced in the Brazilian Northeast through public policies that aimed to meet the needs of the rural man concerning the food supply of his herd, notably cattle and goat farming and also as alternative reforestation in areas deforested by the caatinga. It was well adapted to the climate of the Northeast region of Brazil as it developed in regions with rainfall between 150 mm and 1200 mm per year [6].

The tree of the genus *Prosopis* is used in the Northeastern semiarid region in three ways: in the exploitation of wood for the production of cuttings and posts and for energetic purposes, in the form of firewood and charcoal; in the feeding of sheep, goats, cattle, horses and mules by means of their fruits; and for shading, usually in the vicinity of farmhouses, parallel to fences and on property roads [7].

This plant produces a large number of pods with excellent palatability and good digestibility, presenting in its chemical composition 25-28% of glucose, 11-17% of starch, 7-11% of proteins, 14-20% of organic acids, pectins and other substances. Thus, the mesquite contains about 43% of sugars and starch, constituting an excellent fattening food, besides being relatively rich in proteins. It has an ash content of approximately 3.75% and a moisture content ranging from 16-20% wet basis [8]. The pod of the mesquite is classified as a vegetable, independent, in the form of a drupaceous lomento, linear or curved, presenting the exocarp

striate, carnivorous mesocarp of yellow colour, divided into leathery segments that have one seed each, with an average of 20 seeds per fruit; measuring 10 to 40 cm in length, 15 to 20 mm in width and 4 to 5 mm in thickness [9].

The mesquite pods are flattened, more or less curved, measuring on average 20 centimetres in length and between 1 and 2 cm in width, with depressions between the seeds; are composed of light-coloured coryza epicarp; sucrose-rich mesocarp (more than 30%) and about 15% crude protein [10]. It is divided into three parts: pulp, seed and endocarp, grow in small stalks forming clusters, contains a sweet flesh and yellow colour.

2.1 Mesquite Seeds

The seeds are dark brown, oval, having an average of 6 mm in length and 4 mm in width. They consist of 3 parts: bark (15%), endosperm (35%) and germ (50%) [11]. They represent about 30% of the total weight of the fruit, varying according to the species and location of development of the pod. The seeds of *P. juliflora* have a water barrier composed by the palisade layer of seed coat and galactomannan in the endosperm [12].

Because it belongs to the family *Fabaceae*, the mesquite seed has the endosperm rich in galactomannan (polysaccharide known worldwide and widely used as a stabilizing and emulsifying agent in the food, cosmetic, textile, pharmaceutical and biomedical industries), serving as a water reservoir and source of energy to the embryo, avoiding its death by desiccation and having potential of application in films and edible coatings [13]. Galactomannans are mainly found in the endosperm of vegetable seeds as components of cell wall storage and energy reserves. During germination, these polysaccharides are discriminated and used as a reserve for the development of seedlings [12].

Polymers of this type, LBG and Guar gums, are widely used in the formulation of ice creams, pasty cheeses, salad dressings, yoghurts etc. In Brazil, the first large study on the composition and properties of pods, including the description and the elucidation of the polysaccharide structure of the seed was performed by Figueiredo [14]. It is a water-soluble polysaccharide; a galactomannan with an average molecular weight of about 250,000, found in the seed whose solutions have high viscosity and "n" applications in the food industry.

These gums are essential in food processing because of their ability to improve water retention, reduce moisture loss by evaporation, alter freezing parameters and formation of water crystals, and especially to increase and optimize viscosity food and other products [14]. Rincón et al. [13] state that *P. juliflora* gum can be used as a natural thickener and stabilizer because of the zero shear viscosity and the non-Newtonian flow behaviour of its aqueous dispersions, as well as the fact that they exhibit properties viscoelastic.

Access to products made from wheat flour substitutes that have nutritional value and pleasant sensory characteristics are difficulties encountered by celiac and the food industry. Biscuits are among the most consumed by society in general, which is justified by the ease of consumption and the affordable cost. Despite the significant production of biscuits in Brazil, the supply of this gluten-free product is very limited [15].

Freitas et al. [16] studied the elaboration of flour with pumpkin seeds and bauru to make biscuits and concluded that the addition of two flours, partially replacing the sweet sprinkles, improves the nutritional value of celiac biscuits as they increase the dietary fibre content, proteins, minerals and lipids. However, sensorially, the biscuit B containing pumpkin seed flour presented better results, showing that this flour can partially replace traditional flours in formulations of biscuits for celiac, both domestically and industrially.

2.2 Technological Characteristics of the Mesquite

The mesquite is part of the foods used by man since prehistory, in regions where the plant is native. They are palatable and aromatic (remining vanilla) [10], it has high levels of proteins with reasonable digestibility, being equal to those of barley and corn, varying in size, colour and chemical characteristics, according to the characteristics of the species. This makes its cultivation recommended for many purposes: phytochemistry [6], allelopathy [17], antioxidant [18], food [13,19], biopesticide [20]; bioethanol [21] and use in medicine [22].

Ruto et al. [23] concluded that the methanolic extract of *P. juliflora* presented several degrees of inhibition against the microorganisms

(*S. aureus*, *B. subtilis*, *C. albicans*, *P.aeurginosa* and *E. coli*). The antibacterial efficacy of the *P. juliflora* extract can be attributed to the presence of phenolic compounds; flavonoids and flavonoids; tannins and terpenoids. Plants can synthesize aromatic substances, most of which are phenols or their oxygen derivatives that serve as a defence mechanism against microorganisms, insects and herbivores. Flavonoids are phenolic compounds hydroxylated substance known to be synthesized by plants in response to microbial infection[24].

The high sugar content associated with the high nitrogen levels of the mesquite tree pods favours the biochemical processes and enables the technology of alcohol production [25]. spirits, liqueur, wine, honey [26], enzymes, acids, gums [13], vinegar, sugars and even drink that replaces coffee [27]. In some Andean countries other beverages such as lodge, chicha, etole and algarobina (a type of stomach and aphrodisiac fortifier), flour [28] and cookies [29].

In a study developed by Silva [30], which improved the process of obtaining a mesquite spirit, the physicochemical characterization of mesquite pods obtained in the state of Paraíba was obtained (Table 1).

Silva [31] elaborated an integral flour of mesquite for use in bakery products using the unit drying operations (45°C for 18 hours), fragmentation and sieving of the pods with the physicochemical composition described in Table 2.

Gusmão [32] prepared a meal of the mesquite pod obtained by convective drying at 60°C for the use of biscuit formulation together with the wheat flour. The characterization data of this flour are described in Table 3.

It is observed that the in natura pod has an average of 9.7% of protein, 1.9 lipids, and 15.7 of crude fibre, excellent quantitative to justify its processing in meaty derivatives. In this context, it is necessary to potentialize the use of the fruits of the mesquite tree crop in the semi-arid regions of Northeast Brazil, where malnutrition is a direct consequence of the lack of potentially nutritious and easy-to-acquire foods rich in nutrients, but wasted due to lack of information, mainly by the rural population. Choge et al. [33] show the composition of the whole pod meal of *P. juliflora*, confirming the product with a high protein and sugar content (Table 4).

Table 1. Physical-chemical composition (Mean \pm standard deviation) of in natura mesquite pods harvested in the cities of Patos e Sousa, Sertão Paraibano

Analysis	Cities		Patos
	(%)	Sousa (%)	
Moisture	10.30 \pm 0.40	13.17 \pm 0.12	
Proteins	10.26 \pm 1.98	9.28 \pm 0.14	
Lipids	2.94 \pm 0.44	1.00 \pm 0.17	
Total acidity	2.17 \pm 0.32	2.37 \pm 0.12	
Mineral	3.16 \pm 0.08	2.50 \pm 0.00	
Crude Fiber	15.08 \pm 0.50	15.27 \pm 0.39	
Reducing sugars	2.99 \pm 0.19	2.44 \pm 0.25	
Non-reducing sugars	38.78 \pm 2.23	36.48 \pm 0.31	
Total sugars	40.62 \pm 1.30	38.92 \pm 0.55	
Carbohydrates	73.34 \pm 1.93	74.05 \pm 0.43	
Energetic value (Kcal 100g ⁻¹)	360.88 \pm 4.00	342.32 \pm 0.38	

Source: Silva [30]

3. KINETICS OF DRYING OF AGROINDUSTRIAL PRODUCTS

Drying is a traditional process in food preservation, responsible for reducing the availability of water to deterioration reactions, increasing food stability and reducing the volume and mass of the product [34]. The advantages of using this process are several, among which: ease in the preservation of food products, stability of the aromatic components at room temperature for long periods of time, protection against enzymatic and oxidative degradation, the reduction of product weight, energy savings due to the lack of refrigeration and the availability of the product at any time of the year [35].

Table 2. Physical-chemical composition of the whole mesquite flour

Analysis (g 100 g ⁻¹)	Mean \pm standard deviation
Water content	6.8 \pm 0.9
Total sugars	56.5 \pm 0.4
Reducing sugars	4.6 \pm 0.3
Total food fibre	7.2 \pm 0.5
Proteins	9.0 \pm 1.5
Ashes	3.6 \pm 0.1
Ethereal extract	2.1 \pm 1.3
Tannins	0.3 \pm 0.0

Source: Silva [31]

The kinetic drying studies have aroused the interest of several researchers for the most different products, crambe seeds [36], seeds of mesquite [28], guandu, [37] and melon seeds [8]. According to Shanthilal & Anandharamakrishnan [38], mathematical modelling based on empirical resolutions is considered an important instrument

for immersion processes, since it allows understanding food behaviour, predicting results and assists in the kinetic quality of the process in a simple way.

Table 3. Physical-chemical composition of the mesquite pod meal

Analysis	Mean \pm standard deviation (g 100 g ⁻¹)
Water content	7.17 \pm 0.01
Ashes	2.50 \pm 0.05
Proteins	9.12 \pm 0.10
Lipids	1.28 \pm 0.15
Carbohydrates	74.50 \pm 0.01
Fibres	15.10 \pm 0.20
Ashes	3.6 \pm 0.1
Total Sugars	60.50 \pm 0.08
(mg 100g⁻¹)	
Calcium	650.75 \pm 1.17
Phosphor	879.12 \pm 2.42
Iron	10.20 \pm 1.87

Source: Gusmão [32]

Due to the importance of the mesquite seed, more research needs to be done to find out about the potentiality of the same. It is necessary to create cryopreservation protocols and one of these protocols is the drying of the seeds. In the literature, several mathematical models have been used to describe the kinetics of thin-film drying for agricultural products. Three types of thin-layer drying models are used to describe the drying kinetics of thin films, being: the theoretical model, which considers only the internal resistance to the transfer of heat and water between the product and the hot air and the

empirical models, which consider only external resistance to temperature and relative humidity of the drying air [39].

Table 4. Composition of whole pod flour from *P. juliflora*

Analysis	100 g matéria seca⁻¹
Protein (g)	16.2
Total sugar (g)	13.0
Fructose(g)	3.2
Glucose (g)	0.8
Galactose (g)	0.8
Sucrose (g)	7.5
Maltose (g)	<0.4
Lactose (g)	0.7
Carbohydrates (g)	69.2
Energy value (KJ)	1530
Diet Fiber (g)	47.8
Fat (g)	2.12
Monosaturated fatty acids (g)	0.4
Polyunsaturated fatty acids (g)	1.06
Saturated fatty acids (g)	0.56
Sodium (mg)	20.0
Ashes (g)	6.0
Total solids (g)	93.5

Source: Choge et al. [33]

The conservative method can be described by mathematical models that make it possible to obtain estimates of the time required to reduce the water content of the product under different drying conditions so that they become useful tools for decision making and contribute to the improvement of process efficiency [40]. According to Kaleta et al. [41], some mathematical models are widely used in the drying processes, they are Henderson & Pabis, Lewis and Page (1949). In this study, it will be used in addition to the models cited by Kaleta et al. [41] the models of Fick, Cavalcanti Mata, Exponential of two terms and Midilli, to compare and analyze the different curves and drying obtained in the different models.

Vilela and Arthur [42] state that the information contained in the drying curves is of fundamental importance for the development of processes and the sizing of equipment. With them, it is possible to estimate the drying time of a certain quantity of products and, with the time necessary for the production, it is estimated the energy expenditure that will reflect in the cost of processing and, in turn, will influence in the final

price of the product, in the sizing of equipment can determine the operating conditions for drying and, with this, the selection of heat exchangers, fans and others.

In spite of the great diversity of research involving grains and seeds, no studies are available in the literature that addresses the effect of temperature on the drying kinetics of processed mesquite grains for direct and indirect consumption, which makes the present study important. Considering the importance of reducing food waste and the use of mesquite seeds, it is necessary to study methods of preserving them through drying. In this way, we can study the way to use the mesquite seed meal in the development of meat restructured types.

4. RESTRUCTURED HAMBURGER MEAT PRODUCT

In the early 1970s, the term restructured meat began to be used in the inclusion of a series of products made from lean and fat meats, cut into pieces of varying size, crushed and reduced to the mass, marketed as raw products, frozen or chilled, or as precooked and cooked [43]. In the same decade, this definition covered a large number of meat products. Recently, this term is used for meat products that try to imitate the aspect of the integral meat.

Restructured products are those that undergo a process of partial or total mechanical subdivision for comminution and subsequent reconstitution of the meat. The main restructured meat products are hamburgers, meatballs, steaks and chicken nuggets [44]. Sousa et al. [45] restructured the hamburger using watermelon peel and concluded that the final product presented high fibre content and low humidity, making a product with nutritional value and capable of having a longer shelf life, besides having a high protein content and a low content of lipids.

Restructured products semi-ready for consumption are presented as an alternative to the market, meeting the demand for ease in preparation and good acceptance. For consumers, these products are an option given the growing need to minimize the time of food preparation, especially for the population of large urban centres [46]. The scientific and industrial community of the meat sector has been investing in the development of new products that meet the demand for products that are easy to prepare

and healthy [47]. Restructured meat products represent a category with great potential for application of functional ingredients with appeals for health [3]. For small producers, the restructured represent a viable alternative from production and cost, because besides being a product that has good acceptance, it needs low investment for its elaboration. Also, it has the characteristic of allowing the insertion of ingredients in its formulation, which is the case of flours and fibres, aiming to add value to the product from a nutritional point of view and contributing benefits from the technological point of view.

Some products have been used as a substitute for animal fat in meat products by starch or gum mixtures [48], by vegetable oils [49] and by different dietary fibres [50,51]. These products are well accepted by the population because they are practical and convenient. In this regard, there is much relevance in studies of the technological, sensorial and functional effect of ingredients used in restructured products [44]. With the increasing increase in the diversity of this type of product, which do not require much time for its preparation, hamburgers, sausages, empanadas, salami, mortadellas and sausages are available in the market [52].

Following Brazilian Law [53], the hamburger is an industrialized meat product obtained from the ground beef of animals, added or not of adipose tissue and ingredients, moulded and subjected to suitable technological process. These meat products are easy to prepare and consumed by all popular classes [52]. Frozen crusts or frozen stews may be marketed; however, in the supermarket shelves, it is observed that the raw and frozen hamburger is the main choice of Brazilian consumers [3].

During the manufacture of meat derivatives, various ingredients may be added, among them soy textured protein and (soluble and insoluble) fibres. Food fibres are widely studied because of their benefits, including reduction of blood cholesterol, improvements in the function of the large intestine, and reduction of postprandial glycemia (thus contributing to the prevention or reduction of intestinal diseases), decreased the risk of coronary heart disease, and type 2 diabetes [54]. Also, the fibres collaborate for the rheological properties of products through characteristics such as solubility, viscosity, gel formation, water retention capacity and volume increase through the association between

molecules [55]. Among the properties, the solubility of the fibres is relevant, mainly, to define the technological and physiological effects. When the functional properties of fibres are evaluated, the soluble fraction shows a greater capacity to provide viscosity, to form gels and to act as an emulsifier, without altering the texture and taste of the food, being easier to be incorporated into processed foods and beverages [56].

The incorporation of dietary fibre of vegetable origin may be of great importance for the Brazilian population since nutritional recommendations suggest the consumption of 25 to 38 g of fibre per day for young and adults. Due to its functional and technological properties, have been used as a fat substitute in various meat products [51] to adopt integrated strategies that manage the production of accessible products, and at the same time healthy formulations, with beneficial properties to the health of the consumer. Also, the addition of dietary fibre helps to modify the general technological and sensory characteristics of a meat system, such as water retention capacity, fat retention capacity and texture profile [57].

According to Oliveira et al. [52], several studies have demonstrated the possibility of substitution and addition of ingredients in the formulation of hamburgers, to incorporate substances with functional properties and reduce the high-fat content of the product; contributing to the health and well-being of consumers. The reduction of sodium and fat can bring about changes in the technological properties, as in the texture profile and presence of exudate liquid, as well as changes in sensorial properties [58].

The addition of fibre in hamburgers [59], at 2% levels, can be performed without negative impact on sensorial quality. Other studies indicate that the addition of more than 10% of dietary fibre does not have a significant impact on the sensory analysis of hamburgers [60]. It should be noted that for Brazilian legislation, in accordance with Portaria 27 [53] a fiber-rich product is defined as the minimum fiber content of 6 g per 100 g of solid product (3 g / 100 ml for liquid products), while the fibre source product must have a minimum content of 3 g / 100 g (1 g /, 5 g / 100 ml for liquids). It is valid to score the average consumption recommendation of 21-38 g / day of dietary fibre. Dietary and dietary experts suggest that 20-30% of daily fibre intake should be composed of soluble fibre [56].

According to the Technical Regulation of Hamburger Identity and Quality [53] in the burger should contain a maximum fat content of 23%, a minimum of 15% protein, 3% total carbohydrates and calcium content (maximum dry basis) 0.1% in raw hamburger and 0.45% in cooked hamburger. Note the high-fat content that this food can contain, highlighting the importance of techniques to reduce this component, so that the final product is healthier.

Trevisan et al. [3] observed that the use of oat fibre was considered effective to improve physicochemical properties in cooked burgers, such as yield, weight loss during microwave heating and colour stability during freezing storage. There were no changes in the texture, indicating that oat fibre presents a promising ingredient to aid formulations of meat products with reduced fat and salt content.

4.1 Chemical Changes: Oxidation Reactions in Meat Products

The process of oxidation is the transfer of electrons from one molecule that oxidizes to another that is reduced. During the oxidation, the oxidizing agent can abstract an electron in the form of hydrogen atoms of a molecule susceptible through the formation of free radicals by the action of reactive substances of oxygen or nitrogen [61]. Oxidative transformations have been associated with deleterious effects on the quality of foodstuffs. Food technologists consider oxidation as one of the main problems related to the deterioration of the quality of meat and meat products during storage [62].

The susceptibility to oxidation is due to the high concentrations of unsaturated lipids, heme pigments, catalysts and several different types of oxidative agents present in muscle tissue. Oxidative deterioration in meat manifests as a change in colour, taste, formation of toxic compounds, shorter shelf life, loss of nutrients and water [62]. The release of iron from myoglobin, haemoglobin, and ferritin also occurs after the steps of processing (salting, grinding, etc.), storage and cooking of meat and meat products, which promotes intense changes in colour, aroma and taste, perceptible by the consumer.

Products formed after lipid oxidation have been characterized as toxic and associated with the development of deteriorating processes of human health. Peroxides and cholesterol oxides

may be involved in the development of tumours and arteriosclerosis, while malonaldehyde has been characterized as a mutagenic agent and related to the formation of nitrosamines [63]. During storage, factors such as heat, moisture, oxygen, presence of light, metals, enzymes and pigments can promote oxidation of lipids, generating compounds harmful to human health, such as malonaldehydes and cholesterol oxides, which have carcinogenic activity [64].

The technological strategies for the control of lipid and protein oxidation in meat and meat products are based on the insertion of substances with antioxidant activity in the formulation of products and / or reduction of meat exposure to molecular oxygen through the use of modified atmosphere packaging [65]. The addition of phenolic compounds from vegetable extracts has been extensively used in the control of lipid oxidation in meat products [66]. Inhibition of lipid oxidation prevents oxidative degradation of proteins by minimizing the formation of secondary compounds of lipid oxidation and, consequently, their interaction with proteins to form carbonyl compounds.

Ultimately, food quality is defined in terms of consumer acceptability: taste, aroma and appearance characteristics. The growing demand for convenient foods has led to rapid growth in the category of consumer-ready products. Many of the food ingredients contain unsaturated fatty acids that are quite susceptible to deterioration of quality, especially under oxidative stress. For this reason, efforts to reduce oxidation have increased. Most of the time, the best strategy is to add antioxidants [67].

In recent years, there has been an increase in the search for alternatives to synthetic antioxidants, due to their carcinogenic potential. Thus, there is a need to look for suitable alternatives from natural sources, such as plant-derived antioxidants, to combat oxidative instability of lipids and proteins in meat [68]. Several strategies have been adopted by the food industry, among which the reduction and/or exclusion of preservatives and artificial colors, the reduction of sodium concentration, the replacement of ingredients whose high intake may be associated with the onset of pathologies and the incorporation of bioactive compounds capable of promoting physiological health benefits for the consumer. This last strategy, in particular, has presented a high growth, is that the foods that contain the so-called bioactive compounds are called functional foods [69].

Recently, special attention has been given to several medicinal plants that can be used as a potential source of antioxidants. In this sense, several scientific studies are being carried out to find natural additives with a broad spectrum of antioxidant activity, to increase the quality and shelf life of meat products [23,70]. The efficacy of the different natural antioxidants has been reported in the reduction of lipid and protein oxidation, colour change and microbial growth in meat products [71].

Most natural antioxidants are obtained through herbs, spices, vegetables, fruits and seeds, where phenolic compounds are the main substances responsible for their antioxidant activity. Plant extracts that present phenolic compounds are considered effective sources of antioxidants since they have a high activity of hydrogen donation or have a high capacity to absorb free radicals. The antioxidant activity of these compounds depends on their structural skeleton and the pattern of their functional groups [67]. Ruto et al. [23] observed that the oxidizing activity between the methanolic extracts was high for *P. juliflora*, there was a greater inhibition activity in the β -carotene assay. In the absence of an antioxidant, β -carotene undergoes rapid discolouration, but the presence of phenolic compounds inhibits the extent of β -carotene destruction by neutralizing the free radical linoleate formed in the system [72,73]. The results of this study indicate that *P. juliflora* extract efficiently inhibits the oxidation of linoleic acid, thus inhibiting the bleaching of β -carotene. According to Sirmah et al. [74], *P. juliflora* extracts may be of valuable interest as a source of natural antioxidants for applications in the food, cosmetic or pharmaceutical industries.

Chia seeds have beneficial effects on health and high levels of protein, antioxidants and dietary fibre [75]. Due to its nutritional importance, it has been used in several products, such as baby foods, cereal bars, roasts, yoghurt, sauce, among others [76]. Fernandez-Ginés et al. [77] and Viuda-Martos et al. [78] observed that the addition of 0.5% to 2% of orange fibres produced an antioxidant effect on mortadella meat product, proving the antioxidant properties of the bioactive compounds (polyphenols, carotenes) of the citrus fibres. Vegetable oils, particularly grains, show marked resistance to rancid plants. Some grains, if not damaged or pressed, can be stored for years, thanks to the presence of natural antioxidants [79].

5. CONCLUSION

The study concluded that the mesquite seed is a promising fibre to be used in hamburger-type meat products. We can also observe that there are only a few studies regarding the mesquite seed, needing to diversify those to better understand how we can better aggregate the seed in other products.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank UFCG (Universidade Federal de Campina Grande).

COMPETING INTERESTS

Authors have declared that no competing interests exist.

REFERENCES

1. Louzada MLC, Martins APB, Canella DS, Baraldi LG, Levy RB, Claro RM, Moubarac JC, Cannon G, Monteiro CA. Ultra- processed foods and the nutritional dietary profile in Brazil. *Revista de Saúde Pública*. 2015;49:38. English. DOI:10.1590/S0034-8910.2015049006132
2. Brasil, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA, 2009. (Accessed 17 July 2019) Available: <http://www.agricultura.gov.br/>
3. Trevisan YC, Bis CV, Henk JM, Barreto ACS. Efeito da adição de fibra de aveia sobre as propriedades físico-químicas de hambúrguer cozido e congelado com redução de gordura e sal. *Brazilian Journal food Technology*. 2016;19:e201507. Portuguese. DOI:10.1590/1981-6723.7915
4. Lima LR, Marcondes AA. Álcool carburante: Uma estratégia brasileira. Curitiba: Editora UFPR; 2002.
5. López-Franco YL, Córdova-Moreno RR, Goycoolea FM, Valdez MA, Juárez-Onofre J, Lizardi-Mendoza J. Classification and physicochemical characterization of mesquite gum (*Prosopis* spp.). *Food Hydrocolloids*. 2002;26:159–166. English. DOI:10.1016/j.foodhyd.2011.05.006
6. Bhatia H, Gupta PK, Soni PL. Structure of the oligosaccharides isolated from *Prosopis juliflora* Sw. DC. Seed

- polysaccharide. *Carbohydrate Polymers*. 2014;101:438-443. English.
DOI: 10.1016/j.carbpol.2013.09.039
7. Rodrigues LC, Silva AA, Silva RB, Oliveira AFM, Andrade LHCA. Conhecimento e uso da carnaúba e da algaroba em comunidades do Sertão do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. *Revista Árvore*, 2013;37:451-457. Portuguese.
DOI: 10.1590/S0100-67622013000300008
 8. Silva IL, Hellismar WS, Carmargo FRT, Farias HFL, Freitas EFM. Secagem e difusividade de sementes de melão. *Revista de Ciências Agrárias*. 2018;41:309-315. Portuguese.
DOI: 10.19084/RCA17278
 9. Grether R, Martinez-Bernal A, Luckow M, Zárate S. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán: Mimosaceae Tribu Mimoseae. Morelia: Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Ecosistema; 2006.
 10. Del Valle FR, Marco E, Becker R, Saunders RM. Preparation of mesquite (*Prosopis ssp.*) pod Enlanced Protein Produced Fiber Fraction. *Journal of Food Science*. 1986;51:1215-1217. English.
DOI: 10.1111/j.1365-2621.1986.tb13088.x
 11. Del Valle FR, Escobedo M, Muñoz MJ, Ortega R, Bourges H. Chemical and nutritional studies on mesquite beans (*Prosopis juliflora*). *Journal of Food Science*. 1983;48:914-919. English.
DOI: 0.1111/j.1365-2621.1983.tb14929.x
 12. Gallao MI, Vieira GPI, Medes NPF, Souza SNA, Brito SE. Reserve mobilisation in mesquite (*Prosopis juliflora*) seed (Leguminosae). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2007;87:2012–2018. English.
DOI: 10.1002/jsfa.2936
 13. Rincón F, Muñoz J, Ramírez P, Galán H, Alfaro MC. Physicochemical and rheological characterization of *Prosopis juliflora* seed gum aqueous dispersions. *Food Hydrocolloids*. 2014;35:348-357. English.
DOI: 10.1016/j.foodhyd.2013.06.013
 14. Figueiredo AA. Algaroba tecnologia, produtos e usos: Meio século no Brasil. Rio de Janeiro; 2000.
 15. Moura FA, Spier F, Zavareze ER, Dias ARG, Elias MC. Biscoitos tipo "cookie" elaborados com diferentes frações de semente de abóbora (*Curcubita maxima*). *Alimentos e Nutrição*. 2010;21:579-85. Portuguese.
 16. Freitas CJ, Valente DR, Cruz SP. Caracterização física, química e sensorial de biscoitos confeccionados com farinha de semente de abóbora (FSA) e farinha de semente de baru (FSB) para celíacos. *Demetra: Alimentação, Nutrição & Saúde*. 2014;9:1003-1018. Portuguese.
DOI: 10.12957/demetra.2014.13301
 17. Kaur R, Callaway RM, Inderjit. Soils and the conditional allelopathic effects of a tropical invader. *Soil Biology and Biochemistry*. 2014;78:316–325. English. DOI: 10.1016/j.soilbio.2014.08.017
 18. Almaraz-Abarca N, Campos MDG, Ávila- Reyes JA, Naranjo-Jiménez N, Corral JH, González-Valdez LS. Antioxidant activity of polyphenolic extract of monofloral honeybee-collected pollen from mesquite (*Prosopis juliflora*, Leguminosae). *Journal of Food Composition and Analysis*. 2007; 20:119–124. English.
DOI: 10.1016/j.jfca.2006.08.001
 19. Obeidat BS, Shdaifat MM. Partial substitution of barley grain with *Prosopis juliflora* pods in lactating Awassi ewes' diets: Effect on intake, digestibility, and nursing performance. *Small Ruminant Research*. 2013;111:50–55. English.
DOI: 10.1016/j.smallrumres.2012.09.013
 20. Araujo AH, Cardoso PCB, Pereira RA, Lima LM, Oliveira AS, Miranda MRA, Xavier-Filho J, Sales MP. *In vitro* digestibility of globulins from cowpea (*Vigna unguiculata*) and xerophitic algaroba (*Prosopis juliflora*) seeds by mammalian digestive proteinases: A comparative study. *Food Chemistry*. 2002; 78:143–147. English.
DOI: 10.1016/S0308-8146(01)00391-0
 21. Naseeruddin S, Yadav KS, Sateesh L, Manikyam A, Desai SL, Rao V. Selection of the best chemical pretreatment for lignocellulosic substrate *Prosopis juliflora*. *Bioresource Technology*. 2014;136:542–549. English.
DOI: 0.1016/j.biortech.2013.03.053
 22. Prabha DS, Dahms HU, Malliga P. Pharmacological potentials of phenolic compounds from *Prosopis* spp. - A review. *Journal of Coastal Life Medicine* 2014;2: 918–924. English.
DOI: 10.12980/JCLM.2.2014J27
 23. Ruto MC, Ngugi CM, Kareru PG, Cheruyot K, Rechab SO, Madivoli ES, Mutembei JK, Kairigo PK, Mauna EG. Antioxidant activity

- and antimicrobial properties of *Entada leptostachya* and *Prosopis juliflora* extracts. *Journal of Medicinal Plants for Economic Development*. 2018;2:1-8. English.
DOI: 10.4102/jumped.v2i1.31
24. Murugan T, Wins JA, Murugan M. Antimicrobial activity and phytochemical constituents of leaf extracts of *Cassia auriculata*. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2013;75:122. English.
DOI: 10.4103/0250-474X.113546
 25. Sousa Filho MSM, Nascimento RM, Cavalcante FL, Rosa MF, Morais JPS, Feitosa JPA, Melo EF, Cruz MR, Alexandre LC. Extração e caracterização de galactomanana de vagens de algaroba (*Prosopis juliflora*). *Embrapa Agroindústria Tropical*, Fortaleza; 2013. (Accessed: 01 July 2019)
Available: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/>
 26. Pasiecznik NM. *Prosopis juliflora* (Vilayati babul) in the drylands of Índia: Develop this valuable resource – don't eradicate it. Coventry: HDRA; 2002.
 27. Prasad MNV, Tewari JC. *Prosopis juliflora* Sw. DC: potential for bioremediation and bioeconomy. *Bioremediation and Bioeconomy*. 2016;3:49-76. English.
DOI: 10.1016/B978-0-12-802830-8.00003-4
 28. Silva LA, Mata MERM, Duarte MEM, Almeida RD, Paulo FF. Drying kinetics os mesquite grain. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*. 2012;14:535-542. English.
DOI:10.1590/1807-1929/agriambi.v21n3p203-208
 29. Gusmão RP, Gusmão TAS, Moura HV, Duarte MEM, Cavalcanti-Mata MERM. Caracterização tecnológica de *cookies* produzidos com diferentes concentrações de farinha de algaroba durante armazenamento por 120 dias. *Brazilian Journal of Food Technology*. 2018;21:1-9. Portuguese.
DOI: 10.1590/1981-6723.11617
 30. Silva CG. Otimização do processo de produção da aguardente de algaroba e aproveitamento dos resíduos sólidos em produtos alimentares. 235f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande-CG; 2009.
 31. Silva CGM, Melo Filho AB, Pires EF, Stamford TLM. Caracterização físico-química e microbiológica da farinha de algaroba (*Prosopis juliflora* Sw. DC). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 2007; 27:733-736.
DOI:10.1590/S0101-20612007000400010
 32. Gusmão RP. Desenvolvimento de biscoito enriquecido com farinha de algaroba: avaliação tecnológica, sensorial e armazenabilidade. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande –CG; 2015.
 33. Choge SK, Pasiecznik NM, Harvey M, Wright J, Awan SZ, Harris PJC. *Prosopis* pods as human food, with special reference to Kenya. In: *International symposium on the nutritional value and water use of indigenous crops for improved livelihoods held*. University de Pretoria. Pretoria. South Africa Proceedings. 2007; 33. (Accessed on: 17 July 2019) Available: <http://www.wrc.org.za>
 34. Casarin F, Mendes CE, Lopes TJ, Moura NF. Planejamento experimental do processo de secagem da amorapreta (*Rubus* sp.) para a produção de farinha enriquecida com compostos bioativos. *Brazilian Journal of Food Technology*. 2016;19:e2016025. Portuguese.
DOI: 10.1590/1981-6723.2516
 35. Mahayothee B, Udomkun P, Nagle M, Haewsungcharoen M, Janjai S, Mueller J. Effects of pretreatments on colour alterations of litchi during drying and storage. *European Food Researc Technology*. 2009;229:329-337. English.
DOI: 10.1007/s00217-009-1051-y
 36. Faria RQ, Teixeira IR, Devilla IA, Ascheri DPR, Resende O. Cinética de secagem de sementes de crambe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2012; 16:57-583. Portuguese. DOI:10.1590/S1415-43662012000500014
 37. Silva LMM, Sousa FCS, Sousa EP, Mata MERMC, Duarte MEM. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos de ghandu. *Brazilian Journal of Food Technology*. 2014;17: 310-318. Portuguese.
DOI: 10.1590/1981-6723.3014
 38. Shanthilal J, Anadharamakrishnan C. Computational and numerical modeling of rice hydration and dehydration. *Food Science and Technology*. 2013;31:100-117. English.
DOI:10.1016/j.tifs.2013.03.004

39. Midilli A, Kucuk H, Yapar Z. A new model for single-layer drying. *Drying Technology*. 2002;20:1503-1513. English. DOI: 10.1081/DRT-120005864.
40. Kadam DM, Balasubramanian S. Foam mat drying of tomato juice. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2011;35:488-495. English. DOI: 10.1111/j.1745-4549.2010.00492.x
41. Kaleta A, Górnicki K, Winiczenko R, Chojnacka A. Evaluation of drying models of apple (var. Ligol) dried in a fluidized bed dryer. *Energy Conversion and Management*. 2013;67:179–185. English. DOI: 10.1016/j.enconman.2012.11.011
42. Vilela CAA, Artur PO. Secagem do açafraão (*Curcuma longa*) em diferentes cortes geométricos. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 2008;28:387-394. Portuguese. DOI:10.1590/S0101-20612008000200018
43. Ordoñez JA, Murad F, Jong EV. *Tecnologia de alimentos*. Porto Alegre: Artemed. 2005;2.
44. Rocha A, Rodrigues CC, Santos CV, Santos CS, Alves I, Paixão JS, Bernardo LO, Lima IA. Análise sensorial de produto reestruturado (hambúrguer). *Cadernos Temáticos MEC*. 2010;25:21-24. Portuguese.
45. Sousa EP, Mori E, Lemos DM, Sousa FC, Silva LMM. Análise química da formulação de hambúrguer enriquecido com fibras da casca de melancia desidratadas. *Revista Verde*. 2012;7:96-101. Portuguese.
46. Borba CM, Oliveira VR, Montenegro KR, Hertz PF, Venzke JG. Avaliação físico-química de hambúrguer de carne bovina e de frango submetidos a diferentes processamentos térmicos. *Brazilian Journal of Food and Nutrition*. 2013;24:01-07. Portuguese.
47. Bonfim RC, Machado JS, Mathias SP, Rosenthal A. Aplicação de transglutaminase microbiana em produtos cárneos processados com teor reduzido de sódio. *Ciência Rural*. 2015;45:1133-1138. Portuguese. DOI: 10.1590/0103-8478cr20131440.
48. Bortnowska G, Balejko J, Schube V, Tokarczyk G, Krzeminska N, Mojka K. Stability and physicochemical properties of model salad dressings prepared with pre gelatinized potato starch. *Carbohydrate Polymers*. 2014;111:624- 632. English. DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.05.015.
49. Cofrades S, Santos-López JA, Freire M, Benedí J, Sánchez-Muniz FJ, Jiménez- Colmenero F. Oxidative stability of meat systems made with W1/O/W2 emulsions prepared with hydroxytyrosol and chia oil as lipid phase. *LWT - Food Science and Technology*. 2014;59:941-947. English. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.06.051
50. Barreto ACS, Pacheco MTB, Pollonio MAR. Effect of the addition of wheat fiber and partial pork back fat on the chemical composition, texture and sensory property of low-fat bologna sausage containing inulin and oat fiber. *Food Science and Technology*. 2015;35:100-107. English. DOI: 10.1590/1678-457X.6496
51. Schmiele M, Mascarenhas MCCN, Barreto ACS, Pollonio MAR. Dietary fiber as fat substitute in emulsified and cooked meat model system. *LWT - Food Science and Technology*. 2015;61:105-111. English. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.11.037
52. Oliveira DF, Coelho AR, Burgardt VCF, Hashimoto EH, Lunkes AM, Marchi JF, Tonial IB. Alternativas para um produto cárneo mais saudável: Uma revisão. *Brazilian Journal of Food Technology*. 2013;16:163-174. Portuguese. DOI: 10.1590/S1981-67232013005000021
53. Brasil. Ministério da Agricultura e Abastecimento. Instrução Normativa nº 20, de 31 de julho de 2000. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Hambúrguer. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, Anexo IV*; 2000.
54. Kendall CWC, Esfahani A, Jenkins DJA. The link between dietary fibre and human health. *Food Hydrocolloids*. 2010;24:42-48. English. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2009.08.002
55. Mudgil D, Barak S. Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2013;61:1-6. English. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2013.06.044
56. Elleuch M, Bedigian D, Roiseux O, Besbes S, Blecker C, Attia H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications:

- A review. *Food Chemistry*. 2011;124:411-421. English.
DOI: 0.1016/j.foodchem.2010.06.077
57. Petracci M, Bianchi M, Mudalal S, Cavani C. Functional ingredients for poultry meat products. *Trends in Food Science & Technology*. 2013;33:27-39. English.
DOI: 10.1016/j.tifs.2013.06.004
 58. Weiss J, Gibis M, Schuh V, Salminen H. Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products. *Meat Science*. 2010;86:196-213. English.
DOI: 10.1016/j.meatsci.2010.05.008.
 59. Sayago-Ayrdi SG, Brenes A, Goñi I. Effect of grape antioxidant dietary fiber on the lipid oxidation of raw and cooked chicken hamburgers. *LWT - Food Science and Technology*. 2009;42:971- 976. English.
DOI: 10.1016/j.lwt.2008.12.006
 60. Pinho LX, Afonso MRA, Carioca JOB, Costa JMC, Ramos AM. The use of cashew apple residue as source of fiber in low fat hamburgers. *Ciência e Tecnologia dos Alimentos*. 2011;31:941-945. English.
DOI: 0.1590/S0101-20612011000400018
 61. Bekhit AEA, Hopkins DL, Fahri FT, Ponnampalam EN. Oxidative processes in muscle systems and fresh meat: Sources, markers and remedies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2013;12:565-597. English.
DOI: 10.1111/1541-4337.12027
 62. Contini C, Álvarez R, O'Sullivan M, Dowling DP, Gargan SO, Monahan FJ. Effect of an active packaging with citrus extract on lipid oxidation and sensory quality of cooked turkey meat. *Meat Science*. 2014;96:171-1176. English.
DOI: 10.1016/j.meatsci.2013.11.007
 63. Baggio SR, Bragagnolo N. Cholesterol oxide, cholesterol, total lipid and fatty acids contents in processed meat products during storage. *LWT- Food Science and Technology*. 2006;39:513-520. English.
DOI: 10.1021/jf020025c
 64. Souza ARM, Arthur V, Canniatti-Brazaca SG. Efeito da radiação gama e do armazenamento na oxidação lipídica e no colesterol de carne de cordeiros da raça Santa Inês. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 2007;27:67-71. Portuguese.
DOI: 10.1590/S0101-20612007000100012
 65. Lund MN, Heinone M, Baron CP, Estévez M. Protein oxidation in muscle foods: A review. *Molecular Nutrition & Food Research*. 2011;55:83-95. English.
DOI: 10.1002/mnfr.201000453
 66. Estévez M. Protein carbonyls in meat systems: A review. *Meat science*. 2011;89: 259–279. English.
DOI: 10.1016/j.meatsci.2011.04.025
 67. Brewer MS. Natural Antioxidants: Sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications. *Food Science and Food Safety*. 2011;10:221–247. English. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x
 68. Falowo AB, Fayemi PO, Voster M. Natural antioxidants against lipid–protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Research International*. 2014; 64:171-181. English.
DOI: 10.1016/j.foodres.2014.06.022
 69. Khan MI, Arshad MS, Anjum FM, Sameen A, Aneeq-Ur-Rehman GWT. Meat as a functional food with special reference to probiotic sausages. *Food Research International*. 2011;44: 3125-3133. English. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.07.033
 70. Veeck APL, Klein B, Ruviaro AR, Quatrin A, Ferreira LF, Daniel AP, Piccolo J, Oliveira MSO, Mallmann CA, Heinzmann BM, Emanuelli T. Estabilidade lipídica de filés de carpa húngara congelados tratados com extratos de *Lippia alba*. *Ciência Rural*. 2015;45:1113-1119. Portuguese.
DOI:10.1590/0103-8478cr20140785
 71. Camo J, Lorés A, Djenane D, Beltrán JA, Roncalés P. Display life of beef packaged with na antioxidante active film as a function of the concentration of orégano extract. *Meat Science*. 2011;88:174-178. English.
DOI:10.1016/j.meatsci.2010.12.019
 72. Chaouche TM, Haddouchi F, Ksouri R, Atik-Bekkara F. Evaluation of antioxidant activity of hydromethanolic extracts of some medicinal species from South Algeria. *Journal of the Chinese Medical Association*. 2014;77:302–307. English. DOI: 0.1016/j.jcma.2014.01.009
 73. Ghasemzadeh A, Jaafar HZ, Juraimi AS, Tayebi-Meigooni A. Comparative evaluation of different extraction techniques and solvents for the assay of phytochemicals and antioxidant activity of Hashemi Rice Bran. *Molecules*. 2015;20: 10822–10838. English.
DOI: 10.3390/molecules200610822
 74. Sirmah P, Mburu F, Ilaych K, Dumarçay S, Gérardin P. Potential antioxidant

- compounds from different parts of *Prosopis juliflora*. *Journal of Tropical Forest Science*. 2011;23:187-195. English.
75. Capitani MI, Spotorno V, Nolasco SM, Tomás MC. Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina. *LWT - Food Science and Technology*. 2012;45:94–102. English. DOI: 10.1016/j.lwt.2011.07.012
 76. Gomez JAH, Colín SM. Caracterización morfológica de chia (*Salvia hispánica*). *Revista Fitotecnia Mexicana*; 2008.
 77. Fernández-Ginés JM, Fernández-Lopez J, Sayas-Barbera E, Sendra E, Perez- Alvarez JÁ. Lemon albedo as a new source of dietary fiber: Application to Bologna sausages. *Meat Science*. 2005; 67:7-13. English. DOI: 10.1016/j.meatsci.2003.08.017
 78. Viuda-Martos M, Ruiz-Navajas Y, Fernandez-Lopez J, Perez-Alvarez JA. Effect of added citrus fibre and spice essential oils on quality characteristics and shelf-life of mortadella. *Meat Science*. 2010;85:568-576. English. DOI: 10.1016/j.meatsci.2010.03.007
 79. Oetterer M, Regitano-D'arce MAB, Spoto MH. *Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos*. São Paulo: Editora Manole; 2006.

© 2019 Cavalcante et al.; This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Peer-review history:

*The peer review history for this paper can be accessed here:
<http://www.sdiarticle4.com/review-history/51201>*

Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos da algaroba**Models of prediction of drying kinetics of algaroba grains**

DOI:10.34117/bjdv6n3-113

Recebimento dos originais: 29/02/2020

Aceitação para publicação: 10/03/2020

Atacy Maciel de Melo Cavalcante

Mestre em Tecnologia Agroalimentar pela Universidade Federal da Paraíba Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande. Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Campus Barreiros
Endereço: Rua Aprígio Veloso, 882, Universitário, Campina Grande – PB, CEP: 58429- 900 - Brasil
E-mail: atacymaciel@hotmail.com; atacy.maciel@barreiros.ifpe.edu.br

Renata Duarte Almeida

Doutora em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande Endereço: Rua Aprígio Veloso, 882, Universitário, Campina Grande – PB, CEP: 58429- 900 - Brasil
E-mail: renatadual@yahoo.com

Anely Maciel de Melo

Mestre em Tecnologia Agroalimentar pela Universidade Federal da Paraíba Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico
Endereço: Praça Santos Andrade, 50, prédio histórico da UFPR - Térreo, CEP: 80020- 300, Centro, Curitiba – PR, Brasil
E-mail: anely-maciel@live.com

Bruno Anderson de Moraes

Licenciado em química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Campus Barreiros
Endereço: Fazenda Sapé, S/N - Zona Rural - Barreiros/PE - CEP: 55560-000 E-mail: brunoanderson401@gmail.com

Izaqueu Rodrigues da Silva

Licenciado em química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Campus Barreiros.
Endereço: Fazenda Sapé, S/N - Zona Rural - Barreiros/PE - CEP: 55560-000 E-mail: zaqueurs222@hotmail.com

Neila Lidiany Ribeiro

Doutora em Zootecnia pela Universidade Federal da Paraíba. Pesquisadora do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), Campina Grande, Paraíba, Brasil
Endereço: Av. Francisco Lopes de Almeida, S/N, Serrotão, CEP: 58434-700, Município: Campina Grande- PB
E-mail: neilalr@hotmail.com

Hofsky Vieira Alexandre

Doutora em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande E-mail:
hossky@gmail.com

Oswaldo Soares da Silva

Doutor em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande. Professor Associado I na Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos - CTRN da Universidade Federal de Campina Grande
Endereço: Rua Aprígio Veloso, 882, Universitário, Campina Grande – PB, CEP: 58429- 900 - Brasil
E-mail: osvaldo_so2002@yahoo.com.br; osvaldo@ccta.ufcg.edu.br

RESUMO

Objetivou-se avaliar a cinética de secagem das sementes da algaroba em camada fina e em diferentes temperaturas utilizando os modelos matemáticos semi empíricos de Henderson & Pabis, Lewis, Page, Cavalcanti Mata, Exponencial de Dois Termos e Midilli et al., para ajuste dos dados experimentais. A cinética de secagem foi realizada em triplicata utilizando uma estufa com circulação forçada de ar, com velocidade em torno de 1 m s⁻¹, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C e por tempos determinados até massa constante. Em todos os tratamentos, os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais apresentaram R² superior a 95,02% e valores de DQM inferiores a 0,0048. Dentre as equações testadas, as de Cavalcanti Mata, Midilli et al. e Page aproximaram-se mais dos pontos experimentais que os demais modelos utilizados. Os modelos de Cavalcanti Mata, Page e Midilli apresentaram os menores valores de DQM e melhores coeficientes estatísticos para descrever as curvas de secagem. Recomenda-se utilizar o modelo de Page para secagem de grãos de algaroba por possuir o menor número de termos, apresentar excelentes valores de R² e DQM, representar de forma eficiente as curvas de secagem para as diferentes temperaturas e ser de fácil aplicação.

Palavras-chave: curvas de secagem, energia de ativação, modelos matemáticos, *Prosopis juliflora*

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the drying kinetics of mesquite seeds in a thin layer and at different temperatures using the semi-empirical mathematical models of Henderson & Pabis, Lewis, Page, Cavalcanti Mata, Exponential of Two Terms and Midilli et al., To adjust the experimental data. The drying kinetics was performed in triplicate using a forced air circulation oven, with speed around 1 m s⁻¹, at temperatures of 50, 60 and 70 ° C and for determined times until constant mass. In all treatments, the mathematical models adjusted to the experimental data presented R² above 95.02% and DQM values below 0.0048. Among the tested equations, those of Cavalcanti Mata, Midilli et al. and Page were closer to the experimental points than the other models used. Cavalcanti Mata, Page and Midilli models presented the lowest DQM values and the best statistical coefficients to describe the drying curves. It is recommended to use the Page model for drying mesquite grains because they have the fewest terms, have excellent values for R² and DQM, represent the drying curves for different temperatures efficiently and are easy to apply.

Keywords: drying curves, activation energy, mathematical models, *Prosopis juliflora*

1 INTRODUÇÃO

O estudo do processo de secagem fornece informações relativas ao comportamento do fenômeno de transferência de calor e massa entre o material biológico e o elemento de secagem, normalmente o ar atmosférico, aquecido ou não; essas informações são fundamentais para a elaboração de projeto, e operação e simulação de sistemas de secagem e secadores (SIQUEIRA et al., 2012).

A secagem dos produtos é o processo mais utilizado para assegurar a qualidade de alguns materiais agrícolas, considerando que a diminuição da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento (RESENDE et al., 2008). De acordo com Shanthilal e Anandharamakrishnan (2013) a modelagem matemática baseada em resoluções empíricas é considerada um importante instrumento para processos de imersão, pois permite compreender o comportamento dos alimentos, prever resultados e auxiliar na qualidade cinética do processo de forma simples.

O estudo de cinética de secagem tem despertado o interesse de vários pesquisadores para os mais diferentes produtos, como grãos de milho (OLIVEIRA et al., 2012), grãos de guandu (SILVA et al., 2014), cevada (ALBINI et al., 2015) e sementes de melão (SILVA et al., 2018). A remoção de parte da água de um produto é importante para evitar contaminação pela proliferação de micro-organismos e manter a durabilidade e a qualidade do produto (SILVEIRA et al., 2013).

A algaroba que pertence à família Leguminosae (Mimosoidae), é uma espécie promissora para o Nordeste, tanto para fins madeireiros como forrageira dada a sua resistência a seca e boa adaptação às condições adversas. A algaroba pode ser utilizada na indústria onde é aproveitada na produção de álcool, bebidas (aguardente, licor, vinagre, café, mel e vinho). Da semente da algaroba também é extraída uma importante e valiosa matéria prima industrial (goma LGB e guar) um hidrocolóide usado na formulação de sorvetes, queijos, molhos, iogurtes, entre outros produtos (SILVA et al., 2012).

Devido à importância da algaroba pesquisas necessitam ser feitas para se descobrir mais sobre a sua potencialidade. É necessário criar protocolos de conservação, um deles é a secagem dos grãos, um subproduto importante oriundo do processamento da vagem da algaroba.

Diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever a cinética de secagem em camada fina para produtos agrícolas, o modelo teórico, os modelos semi teóricos e os empíricos, que consideram somente a resistência externa à temperatura e a umidade relativa do ar de secagem (MIDILLI et al., 2002).

Considerando a importância do estudo teórico do processo de secagem dos produtos agrícolas e a limitação das informações teóricas a respeito dos fenômenos que ocorrem durante a secagem dos grãos da algaroba, objetivou-se neste trabalho avaliar a cinética de secagem das sementes da algaroba em camada fina nas temperaturas de 50, 60 e 70°C utilizando os modelos matemáticos de Henderson & Pabis, Lewis, Page, Cavalcanti Mata, Exponencial de Dois Termos e Midilli et al., para ajuste dos dados experimentais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

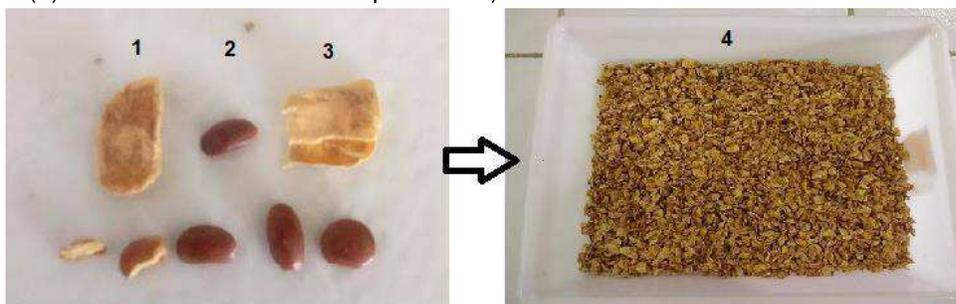
2.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

A secagem foi realizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, *Campus Barreiros*.

2.2 MATÉRIA-PRIMA

Foi utilizada a variedade da algaroba *Prosopis juliflora Sw. DC*, obedecendo ao critério de seleção *in loco*: estado de desenvolvimento de aproximadamente 24 meses obtidas na cidade de Afogados da Ingazeira/PE. Utilizou-se no experimento a semente da algaroba com a casca (Figura 1).

Figura 1: Imagens da semente da *Prosopis juliflora Sw. DC* ((1) Semente + casca, (2) Semente, (3) Casca e (4) sementes utilizadas no experimento)



Fonte: o autor (2020).

Brazilian Journal of Development

A obtenção dos grãos teve início com o processo de sanitização das vagens em solução de hipoclorito a 20 ppm por 10 minutos, seguido da imersão do material em água potável por 5 minutos e enxágue em água corrente. Após a sanitização, as vagens passaram por uma hidratação em água potável por 24 horas em temperatura ambiente (25°C) e posterior fragmentação em pedaços menores, seguida do despulpamento da vagem em liquidificador industrial. Após o despulpamento, o material (bagaço + semente) foi colocado em tanques/recipientes juntamente com água potável, na medida de 2:1 no volume, a fim de propiciar a flutuação das sementes, que foram obtidas por diferença de densidade com ajuda de peneiras (Figura 2). Os grãos foram armazenadas sob congelamento na temperatura de -18°C, em sacos de propileno e em porções individuais de 300 g.

Figura 2: Representação do processo de obtenção dos grãos, (1) Sanitização e hidratação das vagens, (2) Fragmentação das vagens em liquidificador industrial, (3) Despulpamento das vagens, (4) hidratação da polpa + sementes + bagaço para favorecer a flutuação das sementes e a sua obtenção, (5) pesagem dos grãos e (6) Embalagem dos grãos.



Fonte: o autor (2020).

2.3 CINÉTICA DE SECAGEM DOS GRÃOS DE ALGAROBA

A cinética de secagem foi realizada em triplicata (Figura 3) utilizando uma estufa (TECNAL, te 394/3 MP, São Paulo, Brasil) com circulação forçada de ar, e velocidade

do ar de secagem em torno de 1 m s^{-1} , nas temperaturas de 50, 60 e 70°C até massa constante.

Figura 3: Telas utilizadas para a secagem das sementes



Fonte: o autor (2020).

O teor de umidade inicial e de equilíbrio foi determinado pelo método de secagem em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por um período até massa constante, de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2009).

Os dados obtidos na cinética de secagem foram submetidos aos dados experimentais expressos na forma de Razão de Teor de Água (RX) calculados pela Equação 1.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_o - X_e} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: RX - Razão de Teor de Água (adimensional), X_e - Teor de água de equilíbrio (base seca), X - Teor de água (base seca) e X_o - Teor de água inicial (base seca).

Os dados experimentais da secagem das sementes foram ajustados para os modelos matemáticos de Henderson & Pabis, Lewis, Page, Cavalcanti Mata, Exponencial de dois termos e Midilli et al., utilizados para ajuste matemático aos dados experimentais obtidos na secagem seguindo metodologia descrita na Tabela 1. Optou-se por utilizar modelos matemáticos que melhor se adequaram a cinética de secagem de grãos e outras sementes (CORZO et al., 2008; MIRANDA et al., 2009; SILVA et al., 2014). Os

coeficientes dessas equações foram obtidos mediante ajuste das curvas de secagem aos dados experimentais utilizando-se o software computacional Statistica, versão 7.0.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem das sementes de algaroba

Modelo	Equação	Referência
Henderson & Pabis	$RX = a \exp(-Kt)$	Henderson e Pabis (1961)
Lewis	$RX = \exp(-kt)$	Lewis (1921)
Page	$RX = \exp(-kt^n)$	Page (1949)
Cavalcanti Mata	$RX = a_1 \exp(-bt^{a_2}) + a_3 \exp(-bt^{a_4}) + a_3$	Carvalho (2007)
Exponencial de dois termos	$RX = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	Henderson (1974)
Midilli et al.	$RX = a \exp(-kt^n) + b t$	Midilli et al. (2002)

Onde: (RX) Razão de umidade (adimensional); (t) Tempo de secagem (min); (n , a , b , a_1 , a_2 , a_3 , a_4 e a_5) Constantes empíricas dos modelos de secagem; (Def) Difusividade efetiva ($m^2.s^{-1}$); (L) Metade da espessura da amostra (m) e (k , k_0 e k_1) Coeficientes empíricos dos modelos de secagem (s^{-1}) (adimensional).

Para o cálculo da difusividade efetiva (Def) utilizou-se geometria de placa plana com espessura da amostra de 6,5 mm e utilizando a equação de Fick com quatro termos ($n=4$) segundo a Equação 2 (CRANK, 1975).

$$RX = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-\frac{(2n+1)^2 \pi^2}{4L^2} Def t\right] \quad (\text{Equação 2})$$

Como critério de seleção para o modelo que melhor representou o processo de secagem, foi considerado o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM), calculado por meio da Equação 3.

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RX_{exp} - RX_{pre})^2}{N}} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: DQM - Desvio Quadrático Médio; RX_{exp} - razão de água obtida experimentalmente; RX_{pre} - razão de água predita pelo modelo matemático e N - número de observações ao longo do experimento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias da temperatura e da umidade relativa do ar ambiente durante o processo de secagem das sementes foram, respectivamente, de 29° C e 67%. Os valores médios de teor de água de equilíbrio (X_{eq}) obtidos para cada temperatura foram de 4,14, 2,94 e 2,11 % b.s. para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente. Dessa forma, pode-se notar que os valores de X_{eq} foram opostos ao aumento da temperatura de secagem, conforme o previsto e observado na algaroba (SILVA et al., 2012) e em outras matérias- primas, como no crambe (FARIA et al., 2012) e do feijão guandu (SILVA et al., 2014).

A influência da temperatura é muito significativa, pois à medida que esta aumenta, o tempo de secagem reduz. Há um aumento da pressão de vapor na amostra, acelerando a remoção de água do seu interior para a superfície, o que, por consequência, reduz os tempos de secagem (Aral & Beşe, 2016; Udomkun et al., 2015). A temperatura mais elevada produz uma maior força motriz para a transferência de calor e massa (NIAMNUY et al., 2011). Silva et al. (2014) afirma que a estabilidade do produto é atingida de acordo com teor de água de equilíbrio.

Na Tabela 2, encontram-se os valores estatísticos dos coeficientes de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM) para os modelos ajustados à cinética de secagem dos grãos de algaroba.

Em todos os tratamentos, os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais apresentaram R^2 superior a 95,02% e valores de DQM inferiores a 0,0048. O coeficiente de determinação (R^2) que varia de 0 a 1, mostra a força da relação entre os dados observados e estimados (VIEIRA, 2012). Quando os modelos apresentam R^2 superior a 91%, estes podem ser usados como equações de secagem que se ajustam satisfatoriamente aos dados experimentais (ALMEIDA, 2009). Resende et al. (2010), Costa et al. (2011), Silva et al. (2012), Silva et al. (2014) e Silva et al. (2018) que determinaram a secagem do feijão adzuki, sementes de crambe, grãos de algaroba, de guandu e sementes de melão, respectivamente, encontraram valores de R^2 superiores a 98% constituindo uma representação satisfatória do fenômeno em estudo.

Tabela 2. Parâmetros de ajuste dos modelos matemáticos semi empíricos utilizados na predição da cinética de secagem das sementes de algaroba com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e Desvio Quadrático Médio (DQM)

Parâmetros									
Modelo Matemático	T°C	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	R ²	DQM
Cavalcanti Mata	50	0,4941	0,0381	0,8002	0,9609	0,4167	-0,4515	0,9997	0,0070
	60	0,6753	0,0183	0,7485	0,3683	1,2335	-0,0213	0,9990	0,0133
	70	0,7941	0,0496	0,6418	0,2314	1,0263	-0,0230	0,9998	0,0048
Exponencial de dois termos	T°C	A		k		b		R ²	DQM
	50	0,4109		0,006		0,4109		0,9739	0,0654
	60	0,4449		0,0087		0,4449		0,9795	0,0624
	70	0,4251		0,1185		0,4251		0,9818	0,0548
Henderson & Pabis	T°C	A			k		R ²	DQM	
	50	0,8219			0,0060		0,9739	0,0654	
	60	0,8899			0,0087		0,9795	0,0624	
	70	0,8502			0,0119		0,9818	0,0548	
Lewis	T°C	k						R ²	DQM
	50	0,0094						0,9502	0,0899
	60	0,011						0,9724	0,0723
	70	0,0159						0,9664	0,0742
Midilli et al.	T°C	a	k	n	b		R ²	DQM	
	50	1,0223	0,0711	0,5536	0,000001		0,9985	0,0139	
	60	1,0574	0,0654	0,6024	-0,000001		0,9962	0,0267	
	70	1,0172	0,0826	0,5945	-0,000011		0,9992	0,0113	
Page	T°C	k			n		R ²	DQM	
	50	0,0654			0,5645		0,9986	0,0148	
	60	0,0504			0,6442		0,9954	0,0295	
	70	0,075			0,6137		0,9991	0,0120	

Onde: (R^2) coeficiente de determinação; (DQM) Desvio Quadrático Médio, e (a, A, k, n e b) parâmetros.

Dentre as equações utilizadas as de Cavalcanti Mata, Midilli et al. e Page aproximaram-se mais dos pontos experimentais que os demais modelos, constatado pelo valor do R^2 que foi acima de 99% em todas as temperaturas avaliadas e também os menores valores do DQM. Sabe-se que quanto menor o valor do DQM melhor é a representação do modelo empregado. Mohapatra e Rao (2005) destacaram que o uso do R^2 como único critério de seleção na avaliação de modelos matemáticos não se constitui em bom parâmetro para representação do fenômeno de secagem. Por isso a importância de se considerar o DQM.

De acordo com Resende et al. (2010), a seleção e recomendação do melhor modelo se fundamenta na simplicidade e no número de coeficientes. Neste trabalho e nas condições que ele foi realizado, o modelo que pode ser selecionado entre Cavalcanti Mata, Midilli e Page, o que melhor pode ser utilizado é o de Page, tendo por base, além dos coeficientes estatísticos favoráveis, a facilidade de uso e simplicidade do mesmo. A secagem em camada fina de diversos produtos tem sido representada pelo modelo de Page, como sementes de mamão (VENTURINI et al., 2012), massa fibrosa de mandioca (CASTIGLIONI et al., 2013), abacaxi (OLANIPEKUN et al., 2014), mandioca (TORREGROZA-ESPINOSA et al., 2014) e sementes de melão (SILVA et al., 2018).

Silva et al. (2012) estudando a cinética de secagem de grãos de algaroba observaram que os modelos matemáticos Cavalcanti Mata e Exponencial de dois termos apresentaram os maiores valores de R^2 , e afirmaram que esses modelos foram os que melhor representaram o processo de secagem de algaroba nas temperaturas estudadas (40, 50, 60 e 70°C). Estas diferenças na recomendação dos modelos empíricos para os grãos de algaroba no trabalho de Silva et al. (2012) e no presente estudo, pode estar relacionada as condições de secagem e peculiaridades dos equipamentos utilizados.

No entanto, os outros modelos ajustados não podem ser usados para estimar as curvas de cinética de secagem de grãos de algaroba, em razão de terem apresentado DQM $>0,05$, mesmo com $R^2 >0,96$ (DIÓGENES et al., 2013).

O parâmetro "k" dos modelos Exponencial de dois termos, Henderson & Pabis (1961), Lewis (1921), Midilli et al. (2002) e Page (1949) aumentaram com o aumento da temperatura de secagem. O valor de k tende a aumentar com a elevação da temperatura do ar de secagem (GONELLI et al., 2009). O mesmo comportamento também foi constatado por Sousa et al. (2011), para os grãos de nabo forrageiro; Faria et al. (2012) para crambe, Siqueira et al. (2012), para pinhão manso e Diógenes et al. (2013) para grãos de abóbora.

No estudo com os grãos de algaroba Silva et al. (2012) observaram em grãos de algaroba que o valor do k diminui no modelo de Newton, e Dois termos, porém aumentou no Page a medida que a temperatura foi elevada. Faria et al. (2012) avaliaram sementes de crambe e observaram que o valor de k aumenta com o aumento da temperatura. Segundo Madamba et al. (1996), a constante de secagem k pode ser utilizada como uma aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionada com a difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente.

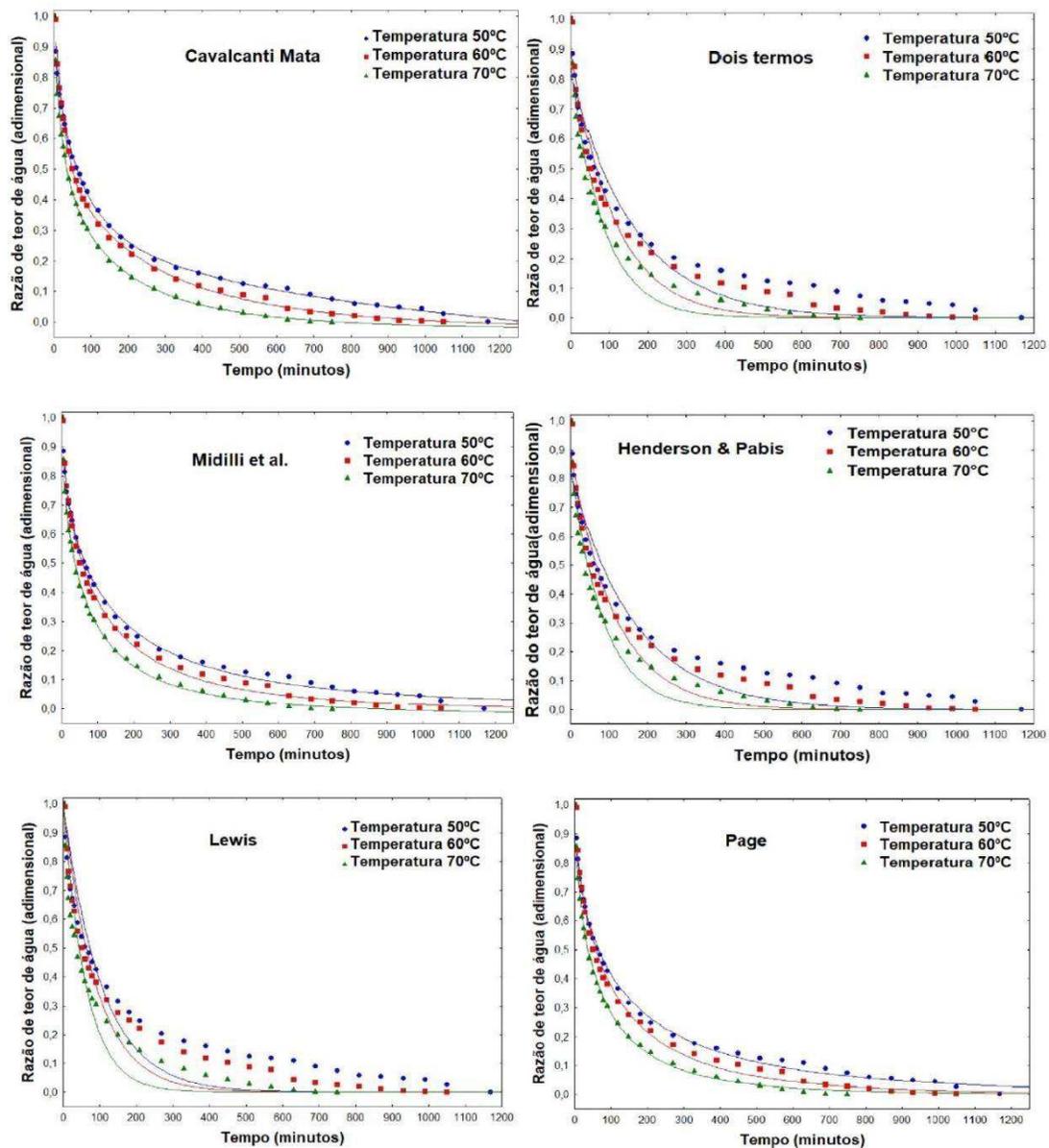
Com relação ao coeficiente "n" do modelo de Page e Midilli et al. (2002), observou-se maiores valores na temperatura de 60°C voltando a diminuir na temperatura de 70°C. Normalmente, quanto maior com a elevação da temperatura do ar de secagem, menor é o valor de n, uma vez que há maior diferença entre a pressão do vapor do ar e do grão, promovendo maior remoção de água. Silva et al. (2012) estudando grãos de algaroba observaram que o valor de n foi maior na temperatura de 70 e 50 °C (0,770 e 0,754, respectivamente) e menores nas temperaturas de 40 e 60 °C (0,728 e 0,729, respectivamente) no modelo matemático de Page.

Calculando-se a Difusividade efetiva (D_{ef}) obteve-se $2,5088 \times 10^{-8}$, $3,0724 \times 10^{-8}$ e $4,6497 \times 10^{-8}$, para as temperaturas de 50, 60 e 70°C, respectivamente. Verifica-se que o coeficiente de difusão efetiva de grãos de algaroba aumenta com o incremento da temperatura do ar de secagem concordando com Oliveira et al. (2012). Nota-se que o modelo linear representou satisfatoriamente os dados experimentais com alto coeficiente de determinação (98%). A difusividade depende da temperatura do ar de secagem, ou seja, quanto

maior a temperatura do ar de secagem menor a resistência do grão a remoção da água, aumentando a difusividade. Os valores de difusão para grãos de algaroba forma inferiores aos citados na literatura para secagem de produtos agrícolas, que, segundo Madamba et al. (1996) apresenta-se na ordem de 10^{-11} a 10^{-9} $m^2 s^{-1}$.

Observou-se que com o aumento da temperatura houve diminuição no tempo de secagem. Comportamento semelhante foi observado por Silva et al. (2012) estudando cinética de secagem e grãos de algaroba. Através das curvas de secagem, verificou-se também que, para um mesmo tempo, quanto maior for à temperatura do ar, maior é a taxa de secagem e que a perda de água é mais rápida no início do processo, tendendo a se estabilizar em período de tempo superior aos 60 minutos. Martins et al. (2014) relataram que, no final da secagem, a água encontra-se em regiões mais intrínsecas da amostra, necessitando de maior energia para a sua evaporação. Assim, o processo ocorre mais lentamente resultando em menores valores da taxa de secagem. A cinética de secagem da algaroba está apresentada na forma adimensional do teor de água, em função do tempo na Figura 4, estando estas ajustadas aos modelos já descritos anteriormente.

Figura 4: Valores experimentais e estimados da razão do teor de água em função do tempo para a secagem dos grãos de algaroba de acordo com os modelos utilizados



Observa-se que o aumento da temperatura de 50°C para 60°C promoveu a diminuição da umidade em um tempo menor, pois ocorre um aumento na quantidade de energia térmica transferida do ar para o sólido, facilitando a transferência de umidade do sólido para o ar. Ocorre comportamento inverso entre a temperatura e o tempo necessário para a secagem, ou seja, uma redução no tempo de secagem e um aumento na remoção de água com a elevação da temperatura, conforme verificado também para outros produtos agrícolas (COSTA et al., 2011; DIÓGENES et al., 2013; MORAIS et al., 2013; MORAES FILHO et al., 2014).

4 CONCLUSÕES

Os modelos de Cavalcanti Mata, Page e Midilli apresentaram os melhores coeficientes estatísticos para descrever as curvas de secagem de grãos de algaroba em todas as temperaturas estudadas e dentre os modelos testados. Porém, o modelo de Page, por possuir o menor número de termos, apresentar excelentes valores de R^2 e DQM, representar de forma eficiente as curvas de secagem para as diferentes temperaturas e ser de fácil aplicação, é recomendado para grãos de algaroba.

REFERÊNCIAS

ALBINI, G., PERAZZINI, H., FREIRE, F.B., FREIRE, J.T.. Secagem de grãos de cevada em camada fina: cinética de secagem. **Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados**, XXXVII ENEMP. São Carlos – SP, On-Line, 2015.

ALMEIDA, D.P., RESENDE, O., COSTA, L.M., MENDES, U.C., SALES, J.F. Cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). **Global Science and Technology**, v.2, p.72-83, 2009.

ARAL, S., & BEŞE, A. V. Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus* spp.): Effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity. **Food Chemistry**, v. 210(1), p. 577-584, 2016.

BRASIL, 2009. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. 2009. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, p.398, 2009.

CARVALHO, C. M., FIGUEIRÊDO, R. M. F., QUEIROZ, A. J. M., FREITAS, J. C. O., PAIVA, K. M. R., GONDIM, M. M. S. Secagem da polpa formulada de umbu-cajá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36, 2007, Bonito-MS. **Anais [...]**. Bonito-MS: SBEA, CD Rom, 2007.

CASTIGLIONI, G.L., SILVA, F.A., CALIARII, M., SOARES JÚNIOR, M.S. Modelagem matemática do processo de secagem da massa fibrosa de mandioca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 987-994, 2013.

COSTA, L. M., RESENDE, O., SOUSA, K. A., GONÇALVES, D. N. Coeficiente de difusão efetivo para a secagem de sementes de crambe (*Crambeabyssinica*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 089-1096, 2011.

CORZO, O., BRACHO, N., PEREIRA, A., VÁSQUEZ, A.,. Weibull distribution for modeling air drying of coroba slices. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, p. 2023-2028, 2008.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. Claredon Press: Oxford, 1975. DIÓGENES, A.M.G., QUEIROZ, A.J.M., FIGUEIREDO, R.M.F., SANTOS, D.C.

Secagem de cinética de grãos de abóbora. **Revista Caatinga**, v. 26, p. 71-80, 2013.

FARIA, R.Q., TEIXEIRA, I.R., DEVILLA, I.A., ASCHERI, D.P.R., RESENDE, O. Cinética de secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 57-583, 2012.

GONELI, A.L.D., CORRÊA, P.C., AFONSO JÚNIOR, P.C., OLIVEIRA, G. H. H. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 11, p. 64-73, 2009.

HENDERSON, S.M. Progress in developing the thin layer drying equation. **Transactions of the ASAE, St. Joseph**, v. 17, p. 1167-1168, 1974.

HENDERSON, S.M., PABIS, S. Grain drying theory. I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agriculture Engineering Research**, v.6, p. 169-174, 1961.

LEWIS, W.K. The rate of drying of solid materials. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 13, p. 427-433, 1921.

MARTINS, J. J. A., MARQUES, J. I., SANTOS, D. C., & ROCHA, A. P. T. Modelagem matemática da secagem de cascas de mulungu. **Bioscience Journal**, v. 30(6), p. 1652- 1660, 2014.

MADAMBA, P.S., DRISCOLL, R.H., BUCKLE, K.A. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v. 29, p. 75-97, 1996.

MIDILLI, A., KUCUK, H., YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, v. 20, p. 1503-1513, 2002.

MIRANDA, M., MAUREIRA, H., RODRIGUEZ, K., VEJA-GALVEZ, A. Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (*Aloe Barbadensis* Miller) gel. **Journal of Food Engineering**, v. 91, p. 297- 304, 2009.

MORAES FILHO, F.C., OLIVEIRA, E.L., NÓBREGA, E.M.M.A., OLIVEIRA, J.A., CORREIA, R.T.P. Secagem convectiva da acerola (*Malpighia marginata* DC.): aplicação de modelos semiteóricos. **HOLOS**, v.01, p. 86-95, 2014.

MORAIS, S.J.S., DEVILLA, I.A., FERREIRA, D.A., TEIXEIRA, I.R. Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 455-463, 2013.

MOHAPATRA, D., & RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 66(4), p. 513-518, 2005.

NIAMNUY, C., NACHAISIN, M., LAOHAVANICH, J., & DEVAHASTIN, S. Evaluation of bioactive compounds and bioactivities of soybean dried by different methods and conditions. **Food Chemistry**, v. 129(3), p. 899-906, 2011.

OLANIPEKUN, B.F., TUNDE-AKINTUNDE, T.Y., OYELADE, O.J., ADEBISI, M.G., ADENAYA, T.A. Mathematical modeling of thin-layer Pineapple drying. **Journal of Food Processing and Preservation**, 2014.

OLIVEIRA, D.E.C., RESENDE, O., SMANIOTTO, T.A.S., CAMPOS, R.C., CHAVES, T.H. Cinética de secagem dos grãos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, p. 190-201, 2012.

PAGE, G.E. Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer. 1949. Dissertation (Master's Thesis)- Department of Mechanical Engineering, **Purdue University**, Purdue, 1949.

RESENDE, O., CORRÊA, P.C., GONELI, A.L.D., BOTELHO, F.M., RODRIGUES, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, p. 17-28, 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, p. 171-178, 2010.

SHANTHILAL, J., ANADHARAMAKRISHNAN, C. Computational and Numerical Modeling of Rice Hydration and Dehydration. **Food Science and Technology**, v. 31, 100-117, 2013.

SILVA, L.A., MATA, M.E.R.M., DUARTE, M.E. M., ALMEIA, R.D., PAULO, F.F. Drying kinetics of mesquite grain. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 14, p. 535-542, 2012.

SILVA, L.M.M., SOUSA, F.C., SOUSA, E.P., MATA, M.E.R.M.C., DUARTE, M.E.M. Prediction models of kinetic drying of pigeon pea grains. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, p. 310-318, 2014.

SILVA, I.L., HELLISMAR, W.S., CARMARGO, F.R.T., FARIAS, H.F.L., FREITAS,

E.F.M. Druing and diffusivity of melon seeds. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, p. 309-315, 2018.

SILVEIRA, A. C.P.; PERRONE, I.T.; RODRIGUES JÚNIOR, P.H.; CARVALHO, A.F. Secagem por spray: Uma revisão. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tosté**, v. 68, n. 391, p. 51-58, 2013.

SIQUEIRA, V.C., RESENDE, O., CHAVES, T.H. Drying kinetics of jatropha seeds. **Revista Ceres**, v. 59, p. 171-177, 2012.

SOUSA, K.A., RESENDE, O., CHAVES, T.H., COSTA, L. M., Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 83-892, 2011.

TORREGOZA-ESPINOSA, A.M., MONTES-MONTES, E.J., ÁVILA-GÓMEZ, A.E., REMOLINA-LOPEZ, J.F. Kinetic modelling of drying of three varieties of yucca industrial. **DYNA**, v. 81; p. 184-192, 2014.

UDOMKUN, P., ARGYROPOULOS, D., NAGLE, M., MAHAYOTHEE, B., JANJAI, S., & MÜLLER, J. Single layer drying kinetics of papaya amidst vertical and horizontal airflow. **Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie**, v. 64(1), p. 67-73, 2015.

VALENTAS, K.J., ROTSTEIN, E., SINGH, R.P. **Handbook of food engineering practice**. Boca Raton: CRC Press, 1997.

VENTURINI, T., BENCHIMOL, L.R., BERTUOL, D.A., ROSA, M.B., MEILI, L. Estudo da secagem e extração de sementes de mamão (*Carica papaya* L.). **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 5, p. 950-959, 2012.

VIEIRA, G.N.A. **Caracterização e secagem de grãos de linhaça marrom (*Linum usitatissimum* L.) em leite fixo e fluidizado**. 2012. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2012.