INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

CINÉTICA DE SECAGEM, CARACTERIZAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE FARINHA DE BATATA-DOCE BIOFORTIFICADA

Autora: Diene Gonçalves Souza
Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Resende
Coorientadora: Dr.ª Lucimeire Pilon

RIO VERDE - GO
Março – 2020

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA

CINÉTICA DE SECAGEM, CARACTERIZAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE FARINHA DE BATATA-DOCE BIOFORTIFICADA

Autora: Diene Gonçalves Souza
Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Resende
Coorientadora: Drª. Lucimeire Pilon

Tese apresentada como parte das exigências para obtenção do título de DOUTORA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

Rio Verde - GO
Março – 2020

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 3/2020 - CPG-RV/DPGPI-RV/DG-RV/CMPRV/IFGOIANO

CINÉTICA DE SECAGEM, CARACTERIZAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE FARINHA DE BATATA-DOCE BIOFORTIFICADA

Autora: Diene Gonçalves Souza
Orientador: Dr. Osvaldo Resende

TITULAÇÃO: Doutorado em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADO em 25 de março de 2020.

Prof. Dr. Daniel Emanuel Cabral Oliveira
Avaliador externo - IF Goiano – Campus Iporá

Prof. Dr. Marco Antônio Pereira da Silva
Avaliador externo - IF Goiano – Campus Rio Verde

Dra. Lucimeire Pilon
Avaliadora externa - Embrapa Hortaliças

Profª. Dra. Lígia Campos de Moura
Avaliadora externa- UniBRAS – Rio Verde

Prof. Dr. Osvaldo Resende
Presidente da banca - IF Goiano – Campus Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- **Lígia Campos de Moura**, **PROFESSOR AVALIADOR DE BANCA**, em 17/04/2020 08:47:39.
- **Lucimeire Pilon**, **PROFESSOR AVALIADOR DE BANCA**, em 16/04/2020 08:50:09.
- **Daniel Emanuel Cabral de Oliveira**, **PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 15/04/2020 22:03:38.
- **Marco Antonio Pereira da Silva**, **PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 15/04/2020 21:15:50.
- **Osvaldo Resende**, **PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 15/04/2020 21:00:21.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 15/04/2020. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/ e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 131967
Código de Autenticação: 87868563e7

INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3620-5600

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

SS729c

Souza, Diene Gonçalves
Cinética de secagem, caracterização e armazenamento de farinha de batata-doce biofortificada / Diene Gonçalves Souza;orientadora Osvaldo Resende; co-orientadora Lucimeire Pilon. -- Rio Verde, 2020.
76 p.

Tese (em Doutorado em Ciências Agrárias - Agronomia) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2020.

1. Ipomoea batatas (L.) Lam.. 2. Desidratação. 3. Temperatura. 4. Compostos Bioativos. 5. Conservação. I. Resende, Osvaldo, orient. II. Pilon, Lucimeire, co-orient. III. Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1 n°2376

INSTITUTO FEDERAL
Goiano

Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF Goiano
Sistema Integrado de Bibliotecas

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

[x] Tese
[ ] Dissertação
[ ] Monografia – Especialização
[ ] TCC - Graduação
[ ] Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____
[ ] Artigo Científico
[ ] Capítulo de Livro
[ ] Livro
[ ] Trabalho Apresentado em Evento

Nome Completo do Autor: Diene Gonçalves Souza
Matrícula: 2017102320140149
Título do Trabalho: Cinética de secagem, caracterização e armazenamento de farinha de batata-doce biofortificada

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: [x] Não [ ] Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 24/09/20
O documento está sujeito a registro de patente? [ ] Sim [x] Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? [ ] Sim [x] Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

1. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde - GO, 24/09/20
Local Data

Diene Gonçalves Souza
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Osvaldo Resende
Assinatura do(a) orientador(a)

DEDICO

A Deus,

Pelo amparo, saúde, e sabedoria para lidar nos momentos difíceis no decorrer desta caminhada.

OFEREÇO

À minha família,

Aos meus pais, José Donizete de Souza e Marivalda de Angelis Gonçalves Souza, pelo amor, incentivo, compreensão e apoio em todas as minhas decisões. Aos meus irmãos Carlos Eduardo de Oliveira (*in memoriam)* e Leonardo Gonçalves Souza por todo apoio e carinho. A minha querida avó Maria de Conceição de Jesus (*in memoriam*), por ser meu sol radiante em dias de tempestades, sei que de onde está torce para que tenha sucesso nessa nova etapa.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Osvaldo Resende, pela orientação, pelos aprendizados no decorrer desta jornada, pelo apoio e incentivo em buscas de parcerias para melhoria do projeto, mesmo distante sempre esteve disponível a qualquer solicitação. Obrigada por toda ajuda, colaboração e paciência durante todo o período do doutorado.

A Dra. Lucimeire Pilon, pela a oportunidade de realizar esta pesquisa na Embrapa Hortaliças. Obrigada por dispor de recursos e parcerias para o enriquecimento deste projeto, pelos ensinamentos, pela paciência, pelo apoio e carinho. Gratidão por ampliar a minha visão e por todos os esforços dedicados para a minha evolução.

Ao meus pais e irmãos, meu infinito agradecimento! Obrigada pelo amor incondicional, preocupação e dedicação.

A todos familiares que viveram este sonho comigo.

A minha grande amiga Lígia, que sempre esteve ao meu lado, apoiando, auxiliando na execução do projeto e compartilhando seus conhecimentos. Ao meu amigo Weder, que também sempre me socorreu nos momentos que precisei, obrigada pelo carinho e amizade.

Ao Dr. Daniel, por todos os conhecimentos compartilhados, pela colaboração e apoio.

Aos alunos da iniciação científica e colegas do laboratório Jennifer, Lara Fernanda, Eduarda, Manoel, Juliana, Esther, Wellington, Adriele e Kallyan, pelo carinho e colaboração para o bom andamento desta pesquisa.

Aos meus queridos amigos Higor, Lara Andressa, Nayane, Bruna, Fernanda, Fúlvia, Gabrielly, Maynna, Evandro, Gabriela, Hévila, Néria, Meiry Hellen, Maria Isabel, Alba, Nivaldo, Silvanira, Layza, Clailton, Elivonete, Pércia e Pollyanna, obrigada pelas palavras de incentivo, orações e apoio durante esta jornada.

Aos meus colegas do alojamento da Embrapa Hortaliças em especial a minha amiga Nayara que foi o meu ponto de apoio, sempre esteve ao meu lado nos momentos que mais precisei.

Ao meu namorado Renato, pelo carinho, incentivo, paciência e companheirismo. Obrigada por ser a calmaria nos momentos difíceis e por sempre acreditar no meu potencial.

Ao Instituto Federal Goiano a minha enorme gratidão por abrir as portas da graduação, mestrado e doutorado. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia em especial a Vanilda Maria, pela paciência e apoio. Aos órgãos de fomento (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo, (CNPq) e (FAPEG), pelo auxílio financeiro ao projeto de pesquisa de maneira geral.

Aos funcionários de todos os departamentos da instituição, aos professores que colaboraram para minha formação. Ao Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais e o Laboratório de Produtos de Origem Animal, coordenado pelo professor Dr. Marco Antônio, obrigada pela parceria e disponibilidade de equipamentos, reagentes e vidrarias para realização das análises.

A Embrapa Hortaliças, em especial o laboratório de Ciências e Tecnologia de Alimentos, por todos os recursos proporcionado para o enriquecimento e execução deste projeto de pesquisa. Aos companheiros do laboratório Getúlio, Ricardo, Deusanio, João, Luiz, Fabiana, Dra. Iriane, Dra. Neide, Dra. Rita, Dra. Milsa e Dr. Aguinaldo muito obrigada pela colaboração e convivência durante o período da realização do projeto.

A Embrapa Instrumentação, pela parceria com a Dra. Lucimeire para a implementação de novas análises que pudesse enriquecer ainda mais este projeto. Agradeço em especial ao Dr. Luiz Conago, que disponibilizou laboratórios, equipamentos e recursos necessários para a execução destas análises.

BIOGRAFIA DO AUTOR

DIENE GONÇALVES SOUZA, filha de José Donizete de Souza e Marivalda de Angelis Gonçalves Souza, nasceu no dia 05 de setembro de 1989, na cidade de Ituiutaba, Minas Gerais.

No mês de fevereiro de 2009, ingressou no curso de Engenharia de Alimentos no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, graduando-se em agosto de 2014.

Em 2012, durante o curso superior ingressou na Iniciação Científica (IC) na área de desenvolvimento de novos produtos (PIVIC), sob a orientação da Professor Dr. Luiz Carlos Gebrim.

Em 2013, continuou na Iniciação Científica (IC) na área de processamento de produtos de origem animal (PIVIC), sob a orientação da Professor Dr. Marco Antônio Pereira da Silva.

Em agosto de 2014, iniciou no curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, no Instituto Federal Goiano – Campus de Rio Verde - GO, como bolsista (CAPES), sob a orientação do Professor Dr. Marco Antônio Pereira da Silva, concluindo em agosto de 2016.

Em março de 2017, iniciou no curso de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, no Instituto Federal Goiano – Campus de Rio Verde - GO, como bolsista (CAPES), sob a orientação do Professor Dr. Osvaldo Resende, concluindo em março de 2020.

ÍNDICE

		Páginas
	ÍNDICE DE TABELAS.....	vii
	ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
	LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIAÇÕES E UNIDADES.....	x
	RESUMO.....	xii
	ABSTRACT.....	xiii
1.0	**INTRODUÇÃO GERAL.....**	**1**
	1.1 Batata-doce.....	1
	1.2 Batata-doce biofortificada.....	2
	1.3 Carotenoides.....	3
	1.4 Secagem.....	4
2.0	**OBJETIVOS.....**	**6**
	2.1 Objetivo Geral.....	6
	2.2 Objetivos Específicos.....	6
3.0	**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....**	**7**
4.0	**CAPÍTULO I - CINÉTICA DA SECAGEM DA POLPA FATIADA DA BATATA-DOCE (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.) BIOFORTIFICADA.....**	**10**
	4.1 INTRODUÇÃO.....	11
	4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
	4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
	4.4 CONCLUSÃO.....	19
	4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20
5.0	**CAPÍTULO II - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, FUNCIONAL E TECNOLOGICA DA FARINHA DA BATATA-DOCE BIOFOTIFICADA SECAS EM DIFERENTES TEMPERATRUAS.....**	**22**
	5.1 INTRODUÇÃO.....	23
	5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
	5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
	5.4 CONCLUSÃO.....	38
	5.5 AGRADECIMENTOS.....	39
	5.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
6.0	**CAPÍTULO III - EFEITO DO ARMAZENAMENTO SOBRE**	**45**

COMPOSTOS BIOATIVOS DE FARINHA DE BATATA-DOCE BIOFORTIFICADA.....
6.1 INTRODUÇÃO..... 47
6.2 MATERIAL E MÉTODOS..... 48
6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 53
6.4 CONCLUSÃO..... 57
6.5 AGRADECIMENTOS..... 57
6.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 57
7.0 CONCLUSÃO GERAL..... 62

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO I - CINÉTICA DE SECAGEM DA POLPA FATIADA DA BATATA-DOCE (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.) BIOFORTIFICADA.

Páginas

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para predizer a secagem de produtos vegetais..... 13

Tabela 2. Parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação (R^2), teste de Qui-quadrado (χ^2), do erro médio relativo (P) e erro médio estimado (SE), obtidos para os modelos (Mod.) ajustados a secagem das fatias da polpa da batata-doce biofortificada..... 16

Tabela 3. Critérios de seleção de Akaike (AIC) e Bayesiana de Schwarz (BIC) para os modelos Wang e Singh, Logarítmico e Midilli..... 17

Tabela 4. Coeficientes “a” e “b” obtidos do modelo de Wang e Singh para a cinética de secagem das fatias da polpa da batata-doce biofortificada nas temperaturas de 45, 55, 65 e 75°C..... 18

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I - CINÉTICA DE SECAGEM DA POLPA FATIADA DA BATATA-DOCE (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.) BIOFORTIFICADA.

Páginas

Figura 1. A) Razão do teor de água ao longo do tempo de secagem para as diferentes temperaturas; B) Valores experimentais e estimados pelo modelo de Wang e Singh para a secagem das fatias da polpa da batata-doce biofortificada nas temperaturas de 45, 55, 65 e 75ºC..... 18

Figura 2. Coeficiente de difusão efetivo (A) e a representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo (B) obtidos para a secagem da polpa de batata-doce biofortificada nas temperaturas de 45, 55, 65 e 75ºC..... 19

CAPÍTULO II – CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, FUNCIONAL E TECNOLÓGICA DA FARINHA DA BATATA-DOCE BIOFOTIFICADA SECAS EM DIFERENTES TEMPERATRUAS

Figura 1. (A) Cinzas (g 100 g^{-1}), (B) fibras solúveis, insolúveis e totais (g 100 g^{-1}), de farinhas de batata-doce biofortificada, secas a 45°C; 55°C; 65°C e 75°C..... 32

Figura 2. (A) pH, (B) acidez titulável (ácido cítrico g 100 g-1) e (C) sólidos solúveis (ºBrix) das farinhas de batata-doce biofortificada, secas a 45°C; 55°C; 65°C e 75°C..... 33

Figura 3. (A) Compostos fenólicos (mg 100 g1), (B) carotenoides totais (mg g^{-1}), β-caroteno (μg g^{-1}), (C) atividade antioxidante por DPPH e ABTS (trolox μmol g^{-1}) de farinhas de batata-doce biofortificada, secas a 45°C; 55°C; 65°C e 75°C..... 34

Figura 4. Valores médios dos parâmetros de cor L*, C*, °h de farinhas de batata-doce biofortificada secas a 45°C; 55°C; 65°C e 75°C..... 35

Figura 5. Microestrutura eletrônica de varredura de farinhas das batata-doce biofortificada, secas a (A1) 45°C aumento de 500X, (A2) 45°C aumento 1000X; (B1) 55°C aumento de 500X, (B2) 55°C aumento de 1000X; (C1) 65°C aumento de 500X, (C2) 65°C aumento de 1000X; (D1) 75°C aumento de 500X, (D2) 75°C aumento de 1000X. Nas imagens, as letras em destaque remetem as seguintes estruturas: A – amido; F – fibra; L – lipídeos; e P – proteína..... 36

Figura 6. Sinais obtidos pelo método de CP-MAS de farinhas de batata-doce biofortificada secas a 45°C; 55°C; 65°C e 75°C..... 37

Figura 7. Espectros de infravermelho transformada de Fourier (FTIR) de absorção das amostras de farinha de batata-doce biofortificada secas a 45°C; 55°C; 65°C e 75°C..... 38

CAPÍTULO III - EFEITO DO ARMAZENAMENTO SOBRE COMPOSTOS BIOATIVOS DE FARINHA DE BATATA-DOCE BIOFORTIFICADA.

Figura 1. Valores médio da temperatura e umidade relativa durante o período armazenamento..... 53

Figura 2. (A) pH, (B) acidez titulável (ácido cítrico g 100 g^{-1}) das farinhas de batata-doce biofortificada em função do tempo de armazenamento..... 54

Figura 3. (A) Carotenoides totais e β-caroteno (μg g^{-1}), (B) atividade antioxidante por DPPH e ABTS (trolox μmol g^{-1}) e (C) compostos fenólicos (mg 100 g^{-1}) das farinhas de batata-doce biofortificada em função do tempo de armazenamento..... 55

Figura 4. Valores médios dos parâmetros de cor L*, C* e °h das farinhas de batata-doce biofortificada em função do tempo de armazenamento..... 56

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIAÇÕES E UNIDADES

%.....Por cento

∑.....Somatória
β.....beta
µg.....micrograma
µm..... micrômetro
ºBrix.....Grau Brix (escala numérica de índice de refração)
ºC.....Grau Celsius
a*.....Cromaticidade do verde ao vermelho
a, b, c, n.....Coeficientes dos modelos de secagem
a.....Comprimento (m)
ABTS.....Ácido 2,2'-azino-di- (3- etilbenzotiazolina sulfônico)
BIC.....Bayesiano de Schwarz
AIC.....Akaike
ANOVA.....Análise de variância
AOAC.....Association of Official Analytical Chemists
b*.....Cromaticidade do azul ao amarelo
b.s. .....Base seca
C*.....Chroma, saturação da cor
c.....Espessura (m)
CEAGES.....Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo
cm.....Centímetro
CV.....Coeficiente de variação
D.....Coeficiente de difusão efetivo ($m^2.s^1$)
D_0.....Fator pré-exponencial ($m^2.s^{-1}$)
DPPH.....2,2-difenil-1-picril-hidrazil
E_a.....Energia de ativação
Eq.....Equação
exp.....Expoente
FTIR.....Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier
g.....Gramas
GAE.....Ácido Gálico equivalente
GLR.....Grau de liberdade do resíduo
h.....Horas
HPLC.....Cromatografia líquida de alta eficiência

h^{-1},k, k_o, k_1.....Constantes de secagem
h^o.....Hue, tonalidade ou matiz cromática (°)
IAA.....Índice de absorção em água
IAO.....Índice de absorção em óleo
IAL.....Índice de absorção em leite
IBEGE.....Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Kg.....Kilogramas
KHz.....kilohertz
L*.....Luminosidade do preto ao branco
MEV.....Microscopia eletrônica de varredura
mg.....Miligrama
mL.....Mililitro
min.....minutos
Mod.....Modelos
Ms.....Matéria seca (kg)
n.....Número de observações experimentais
N.....Normalidade
NaOH.....Hidróxido de sódio
ns.....Não significativo
pH.....Potencial hidrogeniônico
r.....Raio
RMN.....Ressoncia Magnética Nuclear
R^2..... Coeficiente de determinação (%)
RX.....Razão de teor de água (adimensional)
s.....segundos
t.....Tempo de secagem
t_0.....Tempo total de secagem anterior (h)
T_{ab}.....Temperatura absoluta (K)
t_i.....Tempo total de secagem atual (h)
Trolox.....6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid
X.....Teor de água (decimal, b.s.)
Xe.....Teor de água de equilíbrio (decimal, b.s.)
Xi.....Teor de água inicial (decimal, b.s.)
Y.....Valor observado experimentalmente
$\hat{Y}$.....Valor estimado pelo modelo
χ^2..... *Qui*-quadrado

RESUMO GERAL

SOUZA, D. G. **Cinética de secagem, caracterização e armazenamento de farinha de batata-doce biofortificada.** 2020. p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias – Agronomia) - Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, Brasil.

A batata-doce (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.) é uma hortaliça que possui grande potencial nutritivo, a polpa alaranjada apresenta conteúdo significativo de carotenoides provitamínicos A, que pode ser utilizada na produção de farinhas. No entanto, são necessários estudos sobre as condições de processamento e armazenamento para minimizar a perda de nutrientes. O objetivo nesta pesquisa foi estudar a cinética de secagem de polpa de batata-doce biofortificada em temperaturas de 45, 55, 65 e 75°C, testar os critérios de AIC e BIC, determinar o coeficiente de difusão efetivo durante a secagem, avaliar a composição proximal, pH, acidez, compostos fenólicos, carotenoides, β-caroteno, capacidade antioxidante por ABTS e DPPH, fibras, cor, microscopia eletrônica de varredura, ressonância magnética nuclear de alto campo, espectrometria de absorção de infravermelho, determinar os índices de absorção em água, óleo e leite das farinhas de batata-doce biofortificada a diferentes temperaturas de secagem 45, 55, 65 e 75°C. Armazenar a farinha seca a 55ºC durante um ano em temperatura ambiente, e avaliar a composição proximal, pH, acidez, compostos fenólicos, carotenoides, b-caroteno, capacidade antioxidante por ABTS e DPPH e cor. A cinética de secagem da polpa da batata-doce biofortificada pode ser descrita pelo modelo de Wang e Singh por exibir o melhor ajuste a maioria das condições. O coeficiente de difusão efetivo aumentou com a elevação da temperatura do ar de secagem e a energia de ativação para a difusão líquida foi de 29,18 kJ mol^{-1}. As farinhas obtidas de raízes fatiadas secas a 45, 55, 65 e 75ºC apresentaram estável na sua composição proximal e morfológicas. A temperatura de 45°C foi a mais indicada para produção de farinhas de batata-doce biofortificada, já que apresentou conteúdos maiores de compostos bioativos, sendo excelente fonte de carotenoides. A farinha apresenta características tecnológicas favoráveis para cobertura para empanados ou para produtos crocantes. Durante o armazenamento, a composição proximal da farinha de batata-doce biofortificada se manteve estável, mas ocorreu redução significativa na cor, capacidade antioxidante, compostos fenólicos, carotenoides e b-caroteno no decorrer do armazenamento.

Palavras-chave: *Ipomoea batatas (L.) Lam.*; Desidratação; Compostos Bioativos; Temperatura; Conservação.

GENERAL ABSTRACT

SILVA, L. C. M. **Drying Kinetics, characterization and storage of biofortified sweet potato.** 2020. p. Thesis (Doctor in Agricultural Sciences – Agronomy) Goiano Federal Institute – Campus Rio Verde – GO, Brazil.

Sweet potato (Ipomoea potatoes (L.) Lam.) is a vegetable that has great nutritional potential, the orange pulp has significant provitamin A carotenoids contents, which can be used to flour production. However, studies about processing and storage conditions are needed to minimize nutrient loss. The objective of this research was to study the drying kinetics of biofortified sweet potato pulp at temperatures of 45, 55, 65 and 75°C, testing the AIC and BIC criteria, to determine the effective diffusion coefficient during drying, to evaluate the proximal composition, pH, acidity, phenolic compounds, carotenoids, β-carotene, antioxidant capacity by ABTS and DPPH, fibers, color, scanning electron microscopy, high-field nuclear magnetic resonance, infrared absorption spectrometry, as well as to determine absorption rates in water, oil and milk of biofortified sweet potato flours at different drying temperatures 45, 55, 65 and 75°C. Also store dry flour at 55 ºC for one year at room temperature, and evaluate the proximal composition, pH, acidity, phenolic compounds, carotenoids, b-carotene, antioxidant capacity by ABTS and DPPH and color. The drying kinetics of the biofortified sweet potato pulp can be described by the Wang and Singh model because it exhibits the best fit under most conditions. The effective diffusion coefficient increased with the increase of drying air temperature and the activation energy for the liquid diffusion was 29.18 kJ mol-1. Flours obtained from sliced roots dried at 45, 55, 65 and 75ºC were stable in their proximal and morphological composition. The temperature of 45°C was the most suitable for the biofortified sweet potato flours production, since it had higher content of bioactive compounds, being an excellent carotenoids source. The flour has favorable technological characteristics for covering breaded or for crunchy products. During storage, the proximal composition of biofortified sweet potato flour remained stable, but there was a significant reduction in color, antioxidant capacity, phenolic compounds, carotenoids and b-carotene during storage.

Keywords: *Ipomoea potatoes (L.) Lam.*; Dehydration; Bioactive compounds; Temperature; Conservation.

1.0 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Batata-doce

É uma hortaliça rústica, de ampla adaptabilidade, cultivada em praticamente todo o território brasileiro (Silva et al., 2008). É uma hortaliça de clima tropical e subtropical, sendo de prático cultivo e ampla adaptabilidade (Silveira e Maluf, 1993).

No Brasil, a batata-doce é uma das hortaliças mais cultivadas, ocupando o quinto lugar, com 53.024 hectares de área cultivada, produção de 741.203 mil toneladas por ano, e produtividade média de 13.998 kg ha^{-1} (IBGE, 2018).

As raízes se adaptam a uma ampla condição de clima, solo e apresentam tolerância ao ataque de pragas, ocorrendo a morte natural da planta somente na ocorrência de fatores climáticos muito severos, tais como geada e seca muito prolongada (Silva et al., 2008).

A batata-doce é uma hortaliça que possui grande potencial nutritivo, rica em vitaminas (B1, B2, C e E), minerais (Ca, Mg, K e Zn), fibra, amido e apresenta alta concentração de β-caroteno nos seus tecidos (Furuta et al., 1998; Kim et al., 2012; Xu et al., 2014).

A batata-doce pode ser utilizada com matéria-prima de diversos produtos, o elevado número de cultivares com características diferentes é um fator que aumenta a potencialidade de uso industrial para fabricação de farinhas pré-gelatinizadas, snacks talharim, xaropes, corantes, açúcares e cereais pré-cozidos (Moulin et al., 2012).

1.2 Batata-doce biofortificada

A batata-doce biofortificada apresenta conteúdo significativo de carotenoides provitamínicos A, cuja ingestão feita de forma regular pode prevenir e combater a

deficiência de vitamina A (Nascimento et al., 2013). Além de ser fonte de fibras (Mullin, 1994), carboidratos (Suda et al., 1999), minerais e vitaminas (Suarez et al., 2016).

A ingestão da vitamina A é de suma importância, pois é um nutriente essencial para o bom o funcionamento do sistema imunológico (Al-Mekhlafi et al., 2010).

A batata-doce biofortificada (Beauregard) apresenta em média 115 $\mu g\ g^{-1}$ de β-caroteno em raízes frescas, enquanto as batata-doce convencionais de polpa branca têm até 10 $\mu g\ g^{-1}$ (Lima, 2018).

O acesso a cultivares biofortificadas constitui uma alternativa para o fornecimento de alimentos mais nutritivos, que podem ajudar a reverter a carência de nutrientes (Stevens & Winternelson, 2008).

1.3 Carotenoides

Os carotenoides são grande grupo de pigmentos presentes na natureza, com mais de 600 estruturas (Damodaram et al., 2010). Essas substâncias são responsáveis pelas cores do amarelo ao vermelho de frutas e hortaliças, utilizados como corantes alimentícios (Maldonade et al., 2007). O β-caroteno é o carotenoide mais amplamente distribuídos na natureza e suas principais fontes são as frutas e os hortaliças (Mercadante 2017).

Os carotenoides são compostos bioativos que trazem benéfico a saúde humana, os provitamínicos ao ser ingerido são convertidos em vitaminas A (Milagres et al., 2007). Além de ser precursor da vitamina A, possui atividade antioxidante combatendo os radicais livres (Delgado-Vargas et al., 2000).

A oxidação é a maior causa de perda de carotenoides e depende da disponibilidade de oxigênio e da estrutura química do carotenoide, esta reação é estimulada pela presença de luz, calor, enzimas e oxigênio (Mercadante, 2017).

O processamento de alimentos pode ocasionar algumas mudanças na estrutura dos carotenoides, que se apresentam em forma de isômeros all-trans exercendo grande atividade de vitamina A, durante o processamento térmico pode ocorrer a conversão em isômero cis que ocasionar perda de atividade de vitamina A (Damodaram et al., 2010).

1.4 Secagem

Um dos processos comerciais mais usados na conservação dos alimentos é a secagem ou desidratação, sem que percam as propriedades biológicas e nutritivas. A

redução do teor de água do produto, e consequentemente, da atividade de água, tem por objetivo evitar o desenvolvimento de microrganismos e de reações químicas indesejáveis que podem deteriorar o alimento, tornando-o impróprio ao consumo (Madamba, 2007).

São de fundamental importância as informações contidas nas curvas de secagem para o desenvolvimento de processos e para o dimensionamento de equipamentos. Com estas, pode-se estimar o tempo de secagem de certa quantidade de produtos e, com o tempo necessário para a produção, estima-se o gasto energético que refletirá no custo de processamento e, por sua vez, (Vilela e Artur, 2008).

Entende-se a difusividade como a facilidade com que a água é removida do material e o coeficiente de difusão efetivo é uma junção de todos os fenômenos que podem intervir sobre a migração da água, sendo obtido a partir de ajustes dos valores experimentais (Martinazzo et al., 2007).

1.5 Farinha da batata-doce

A farinha da batata-doce apresenta ampla aplicação na indústria de alimentos, principalmente na elaboração de produtos de panificação, sendo fonte de amido, vitaminas, sais minerais, além de compostos com propriedades funcionais (Maselli e Hekmat, 2016).

Sendo assim, o processamento deste tubérculo pode contribuir para a valorização da cultura, pois se trata de um processo de baixo custo e, que sendo um produto diferenciado, poderá atender ao mercado crescente de produtos naturais e para fins especiais (Borba et al., 2005).

Pode-se tornar alternativa viável para a suplementação alimentar, visando suprir a deficiência de vitamina A pela presença e fonte barata e abundante de β-caroteno presente nesse alimento (Rodriguez-amaya, 2004).

Alguns estudos reportam a contribuição da farinha de batata-doce alaranjada, com relação ao fornecimento de carotenoides para a dieta. Trancoso-Reyes et al. (2016) obtiveram a farinha de batata-doce biofortificada utilizando um secador de bandejas com ar forçado, o processo de desidratação foi realizado a 60ºC por 10 horas. O obtendo uma farinha com teor de carotenoides em 137,49 µg g^{-1}. Rodrigues et al. (2016), obteve a farinha de batata-doce biofortificada por secagem em estufa com temperatura de 65ºC por 24 horas, e encontrou valores de carotenoides em 196,6 µg g^{-1}.

A produção de farinha a partir de batata-doce aumenta a vida útil do produto e facilita sua incorporação em diversos produtos, podendo substituir parcialmente a farinha de trigo na confecção de pães, bolos, biscoitos e outros produtos (Rodrigues-Amaya et al., 2011).

2.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-MEKHLAFI MSH, SURIN J, SALLAM AA, ABDULLAH AW, MAHDY MAK, (2010) Giardiasis and poor vitamin A status among aboriginal school children in rural Malaysia. American Journal Tropical Medicine and Hygien 83 (3): 523–527.

BORBA AM, SARMENTO SBS, LEONEL M (2005) Efeito dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce. Ciência e tecnologia de alimentos 25 (4): 835-843.

DAMODARAM S, PARKIN KL, FENNEMA OR (2010) Química de Alimentos de Fennema. 4 ed. Porto Alegre: Artmed 900.

DELGADO-VARGAS F, JIMÉNEZ AR, PAREDES-LÓPES O (2000) Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains-characteristics, biosynthesis, processing, and stability. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, (40): 173-182.

FURUTA S, SUDA I, NISHIBA Y, YAMAKAWA O (1998) High tert-Butylperoxyl radical scavenging activities of sweet potato cultivars with purple flesh. Food Science and Technology International 4 (1): 33–35.

IBGE. Índice Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal. Culturas Temporárias e permanentes. 2018. Brasília. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: https:// https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado. Acesso em 16 de janeiro 2020.

LIMA AL (2018) Embrapa apresenta o potencial da batata-doce biofortificada para a merenda escolar. Belém: Embrapa Amazona Oriental. (Embrapa potencial da batata-doce biofortificada para a merenda escolar). Disponível em https:// https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/33490417/embrapa-apresenta-o-potencial-da-batata-doce-biofortificada-para-a-merenda-escolar. Acesso em 16 de janeiro 2020.

MADAMBA PS, DRISCOLL RH, BUCKLE KA (2007) The thin-layer drying characteristics of garlic slices. Journal of Food Engineering (29): 75-97.

MALDONADE IR, SCAMPARINI ARP, RODRIGUEZ-AMAYA DB (2007) Selection and characterization of carotenoid-producing yeasts from Campinas region, brazil. Brazilian Journal Microbiology. (38): 65-72.

MASELLI L, HEKMAT S (2016) Microbial Vitality of Probiotic Milks Supplemented With Cereal or Pseudocereal Grain Flours. Journal of Food Research, (5): 41-49.

MARTINAZZO AP, CORRÊA PC, MELO EC, BARBOSA FF (2007) Difusividade efetiva em folhas de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf submetidas à secagem com diferentes comprimentos de corte e temperaturas do ar. Revista Brasileira de Plantas Medicinais (9): 68-72.

MERCADANTE AZ (2017) Pigmentos Naturais. In: LAJOLO FM, MERCADANTE AZ Química e Bioquímica dos Alimentos. 1ed.: Atheneu (1): 241-280.

MILAGRES RCRM, NUNES LC, PINHEIRO-SANT'ANA HM (2007) A deficiência de vitamina A em crianças no Brasil e no mundo. Ciências e Saúde coletiva. 12 (5): 1253-1266.
MOULIN MM, RODRIGUES R, GONÇALVES LSA, SUDRÉ CP, PEREIRA MG (2012) A comparison of RAPD and ISSR markers reveals genetic diversity among sweet potato landraces (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.). Acta Scientiarum. Agronomy 34 (2) 139- 147.
MULLIN WJN, REYNOLDS RLB (1994). Dietary fibre in sweet potato. Food research international (27): 563–565.
NASCIMENTO KO, ROCHA DGCM, SILVA EB, BARBOSA JÚNIOR JL, NASCIMENTO MIMJBO (2013) Caracterização química e informação nutricional de fécula de batata-doce (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.) orgânica e biofortificada. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável 8 (1) 132 – 138.
RODRIGUEZ-AMAYA DB (2004) Advances in food carotenoid research: contribution of a Brazilian laboratory. Revista do Instituto Adolfo Lutz 63 (2) 129-138.
RODRIGUEZ-AMAYA DB, NUTTI MR, CARVALHO JLV (2011) Carotenoids of sweet potato, cassava, and maize and their use in bread and flour fortification. In: PREEDY, R. R.; WATSON, R. R.; PATEL, V. B. (Eds.). Flour and breads and their fortification in health and disease prevention. London; Burlington; San Diego: Academic Press; Elsevier (28): 301-311.
RODRIGUES NR, BARBOSA JJL, BARBOSA MIMJ (2016) Determination of physico-chemical composition, nutritional facts and technological quality of organic 42 orange and purple-fleshed sweet potatoes and its flours. International Food Research Journal 23 (5) 2071-2078.
RODRIGUEZ-AMAYA DBPHD. (2001) Guia para análise de carotenóides em alimentos. Departamento de Ciência de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas- UNICAMP.
SILVA JBC, LOPES CA, MAGALHÃES JS (2008) Sistema de produção da batata-doce. Brasília: Embrapa Hortaliças (Embrapa Hortaliças. Sistemas de produção). Disponível em https://www.embrapa.br/hortalicas/batata-doce. Acesso em: 12 janeiro 2020.
SILVEIRA MDA, MALUF WR (1993) Resistência de clones de batata-doce a *Meloidogyne* spp. Horticultura Brasileira 11 (2) 131–133.
STEVENS R, WINTER-NELSON A (2008) Consumer acceptance of provitamin A biofortified maize Maputo, Mozambique. Food Policy 33 (4): 341-351.
SUAREZ MH, SUAREZ AIM, HERNANDEZ BR, GALDON LH, RODIGUEZ CEM, CABRERA DR, MESA EM, RODRIGUEZ-RODRIGUEZ CD (2016) Romero. Application of multidimensional scaling technique to differentiate sweet potato (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.) cultivars according to their chemical composition. Journal Food Composition (46): 43-49.
SUDA I, YOSHIMOTO M, YAMAKAWA P (1999) Sweetpotato potentiality: prevention for life style-related disease induced by recent food havits in Japan. Foods & Food Ingredients Journal of Japan (181): 59-69.
TRANCOSO-REYES N, OCHOA-MARTÍNEZ LA, BELLO-PÉREZ LA (2016) Effect of pre-treatment on physicochemical and structural properties and the bioaccessibility of β-carontene in sweet potato flour. Food Chemistry, v. 200, p. 199-205, 2016.
VILELA CAA, ARTUR PO (2008) Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. Ciência e Tecnologia de Alimentos (28): 387-394.

XU J, SU X, LIM S, GRIFFIN J, CAREY E, KATZ B, TOMICH J, SCOTT SMITH J, WANG W (2014) Characterization and stability of anthocyanins in purple-fleshed sweet potato. Food Chemistry 40-48.

1.0. OBJETIVOS

2.1 Geral

Determinar a cinética de secagem da polpa de batata-doce biofortificada submetida a diferentes temperaturas de secagem, assim como estudar a qualidade nutricional e funcional da farinha durante o armazenamento.

2.2 Específicos

Avaliar a cinética de secagem e modelagem matemática da polpa de batata-doce biofortificada nas temperaturas de 45, 55, 65 e 75ºC;

Utilizar os critérios da informação de Akaike (AIC) e informação Bayesiano de Schwarz (BIC) para seleção de modelos;

Determinar a difusividade e energia de ativação;

Obter as farinhas da polpa de batata-doce biofortificada a partir das diferentes temperaturas de secagem e caracterizar por meio do teor de água, proteína, cinzas, lipídeos, fibras solúveis e insolúveis, pH e acidez;

Avaliar a atividade antioxidante, compostos fenólicos, carotenoides e β-caroteno, além de analisar as farinhas por microscopia eletrônica de varredura, ressonância magnética de alto campo e espectrometria de infravermelho;

Verificar a coloração das farinhas por reflectometria a partir das leituras de L* (luminosidade), a* e b* (parâmetros de Hunter) e chroma (Cr);

Determinar as propriedades tecnológicas através do índice de absorção em água, índice de absorção em óleo e índice de absorção em leite;

Armazenar as farinhas cuja temperatura de secagem mantiver as características nutricionais e funcionais, por doze meses e realizar as análises de cor, acidez, pH, proteína, lipídeos, teor de água, cinzas, antioxidantes, carotenoides e β-caroteno e compostos fenólicos a cada três meses, a fim de verificar a estabilidade das farinhas de batata-doce biofortificada durante o tempo de armazenamento.

CAPÍTULO I

(Artigo publicado na Engenharia Agrícola - v.39, n.2, p.176-181, mar./apr. 2019)

CINÉTICA DE SECAGEM DA POLPA FATIADA DA BATATA-DOCE (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.) BIOFORTIFICADA

DRYING KINETICS OF THE SLICED PULP OF BIOFORTIFIED SWEET POTATO (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.)

RESUMO: A batata-doce (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.) biofortificada é um dos alimentos com as maiores contribuições de carotenoides na dieta, especialmente carotenoides provitamínicos A. Assim, objetivou-se com esta pesquisa analisar a cinética de secagem da polpa da batata-doce biofortificada, utilizar os critérios da informação de Akaike (AIC) e informação Bayesiano de Schwarz (BIC) para seleção de modelos, bem como determinar o coeficiente de difusão efetivo e a energia de ativação em diferentes condições de secagem. As batata-doce biofortificada foram fatiadas em formato chips e submetidas secagem em estufa de circulação de ar com velocidade de 1,0 m s^{-1} em diferentes temperaturas 45; 55; 65 e 75°C até massa constante. Aos dados foram ajustados os modelos matemáticos Wang e Singh, Verma, Thompson, Page, Newton, Midilli et al., Logarítmico, Henderson e Pabis, Exponencial de Dois Termos, Dois Termos, Aproximação da Difusão utilizados frequentemente para predizer a secagem de produtos vegetais. Os modelos Wang e Singh foram selecionados para representar a secagem da polpa da batata-doce biofortificada por exibir o melhor ajuste a maioria das condições. Os critérios de AIC e BIC foram adequados para selecionar o modelo de Wang e Singh. O coeficiente de difusão efetivo aumentou com a elevação da temperatura do ar de secagem e a energia de ativação para a difusão líquida foi de 29,18 kJ mol^{-1}.

PALAVRAS-CHAVE: Difusão líquida; Energia de Ativação; Wang e Singh.

ABSTRACT: Biofortified sweet potato (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.) is one of the foods with the highest carotenoids' contributions in the diet, especially provitamin A carotenoids. Thus, the objective of this research was to analyze the drying kinetics of biofortified sweet potato pulp, to use the Akaike information criteria (AIC) and Bayesian Schwarz information (BIC) for model selection, as well as to determine the effective diffusion coefficient and the activation energy under different drying conditions. The biofortified sweet potatoes were sliced into chips and drying was carried out in air circulation oven with speed of 1.0 m s^{-1} at various temperatures 45; 55; 65 and 75 °C to constant mass. To the data were adjusted the mathematical models Wang and Singh, Verma, Thompson, Page, Newton, Midilli et al., Logarithmic, Henderson and Pabis, Exponential of Two Terms, Two Terms, Diffusion Approach frequently used to predict the drying of vegetal products. The Wang and Singh model was selected to represent the drying of the biofortified sweet potato pulp by exhibiting the best fit for most conditions. The AIC and BIC criteria were suitable for selecting the Wang and Singh model. The effective diffusion coefficient increased with the drying air temperature rise and the activation energy for the liquid diffusion was 29.18 kJ mol^{-1}.

KEYWORDS: Liquid diffusion; Activation Energy; Wang and Singh.

4.1. INTRODUÇÃO

A batata-doce (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.) possui papel de destaque sendo uma das culturas alimentares mais importantes no mundo (Kim et al., 2012). É uma hortaliça rústica, de ampla adaptabilidade, cultivada em praticamente todo o território brasileiro (Silva et al., 2008). A polpa alaranjada possui conteúdo significativo de β-caroteno, cuja ingestão feita de forma regular pode prevenir e combater a cegueira e a mortalidade infantil causada por deficiência de vitamina A, principalmente nas populações mais carentes que não têm acesso a outras fontes dessa vitamina (Nascimento et al., 2013).

A secagem é um processo utilizado para preservar a qualidade dos alimentos que consiste em diminuir a disponibilidade de água para reações de deterioração, aumentar a estabilidade do alimento e reduzir o volume e a massa do produto (Casarin et al., 2016). A redução da quantidade de água nos produtos agrícolas providencia maior vida de prateleira e evita a degradação de substâncias benignas para o consumidor e a proliferação de microrganismo deteriorantes (Tontul e Topuz, 2017). É também o processo comercial mais utilizado para preservar o alimento e, comparado com outros métodos preservativos para períodos longos, com baixo custo e de operação mais simples (Alexandre et al., 2013).

A aplicação dos modelos matemáticos que permite prever o comportamento dos diversos fenômenos que ocorrem durante o processo de secagem, e implica na redução do custo operacional (Dionello et al., 2009). Diversos critérios podem ser utilizados

para verificar o ajuste de modelos matemáticos de secagem em produtos vegetais. Entretanto, alguns parâmetros possuem limitações, sendo necessária a adoção de critérios adicionais para reforçar e endossar a tomada de decisão como, por exemplo, os critérios da informação de Akaike (AIC) e informação Bayesiano de Schwarz (BIC) (Gomes et al., 2018).

A composição química e estrutura física diferem de um produto para outro, fazendo com que a saída de água seja específica para cada material (Goneli et al., 2007).

Assim, objetivou-se com este trabalho analisar a cinética de secagem da polpa da batata-doce biofortificada, testar os critérios de AIC e BIC para a seleção dos modelos, bem como determinar o coeficiente de difusão efetivo e a energia de ativação para o processo.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde. Foram utilizados 3 kg de batata-doce biofortificada (CNPH1210), com o teor de água inicial de 3,796±0,018 (decimal base seca) foram descascadas manualmente com o uso de facas metálicas. Em seguida, a polpa foi fatiada em formato chips nas dimensões de, aproximadamente, (4,6 x 4,0 x 0,3) ± 0,3 cm (comprimento, largura e espessura) adaptado segundo Borges et al., (2008), com auxílio de um ralador doméstico. As fatias das polpas das batatas foram submetidas à secagem em estufa com circulação de ar com velocidade de 1,0 m s^{-1} temperaturas de 45, 55, 65 e 75°C. Foram utilizadas 150 g de amostra distribuídas uniformemente em camada de 0,7 cm em bandejas de alumínio retangulares (25 x 10 cm) sem perfuração com 4 repetições cada temperatura de secagem.

A redução do teor de água 2,36 ± 0,09 ao longo da secagem foi realizada pelo método gravimétrico (perda de massa). O acompanhamento da redução da massa durante a secagem foi realizado com auxílio de uma balança com resolução de 0,01 g.

Para determinação do teor de água de equilíbrio, as amostras da batata-doce biofortificada, foram pesadas a cada 24 horas até atingir três pesagens de massa constante. Os teores de água de equilíbrio de 45 a 75°C foram de 0,0009, 0,0008, 0,0007 e 0,0006 decimal (b.s.) respectivamente. Os teores de água do material foram determinados em estufa regulada a 105°C por 24 horas.

Para a determinação das razões de teor de água da batata-doce biofortificada

durante a secagem, utilizou-se a seguinte expressão:

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \qquad 1)$$

Em que, RX: razão de teor de água do produto, adimensional; X: teor de água do produto (b.s.); Xi: teor de água inicial do produto (b.s.); e X_e: teor de água de equilíbrio do produto (b.s.).

Os modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da secagem de produtos vegetais (Tabela 1) foram ajustados aos dados experimentais da secagem da batata-doce biofortificada.

Tabela 1 -Modelos matemáticos utilizados para predizer a secagem de produtos vegetais.

Designação do modelo	Modelo	
$RX = 1 + a\,t + b\,t^2$	Wang e Singh	(2)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a)\exp(-k_1 \cdot t)$	Verma	(3)
$RX = \exp\left(\left(-a-\left(a^2 + 4 \cdot b \cdot t\right)^{0,5}\right) \Big/ 2 \cdot b\right)$	Thompson	(4)
$RX = \exp\left(-k \cdot t^n\right)$	Page	(5)
$RX = \exp(-k \cdot t)$	Newton	(6)
$RX = a \cdot \exp\left(-k \cdot t^n\right) + b \cdot t$	Midilli et al.	(7)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	Logarítmico	(8)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	Henderson e Pabis	(9)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1-a)\exp(-k \cdot a \cdot t)$	Exponencial de Dois Termos	(10)
$RX = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	Dois Termos	(11)

Em que: t: tempo de secagem, h; k, k_o, k_1: constantes de secagem h^{-1}; e a, b, c, n: parâmetros dos modelos.

Os modelos matemáticos foram ajustados, a partir de análise de regressão não linear pelo método Gauss Newton. A significância dos parâmetros dos modelos foi avaliada pelo teste t adotando o nível de 5% de significância. Foi verificado o grau de ajuste de cada modelo de acordo com as magnitudes do coeficiente de determinação (R^2), do erro médio relativo (P), erro médio estimado (SE). Os erros médios relativo e estimado foram calculados conforme as equações 13 e 14, respectivamente.

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \qquad (13)$$

$$SE=\sqrt{\frac{\sum (Y-\hat{Y})^2}{GLR}} \quad (14)$$

Em que, n - número de observações experimentais; Y – valor da razão de teor de água, observado experimentalmente; $\hat{Y}$ - valor da razão de teor de água, estimado pelo modelo; GLR - grau de liberdade do modelo (número de observações subtraído pelo número de parâmetros do modelo).

Para selecionar um único modelo para descrição do processo de secagem em cada condição, os modelos que obtiveram os melhores ajustes foram submetidos aos critérios de seleção da Informação de Akaike (AIC) e Informação Bayesiano de Schwarz (BIC).

Os critérios AIC e BIC foram utilizados como complemento na escolha do melhor modelo matemático para predizer o fenômeno. O AIC permite utilizar o princípio da parcimônia na escolha do melhor modelo, ou seja, de acordo com este critério nem sempre o modelo mais parametrizado é melhor (Burnham & Anderson, 2004).

O AIC (Equação 15) é usado para comparar modelos não aninhados ou quando estão sendo comparados três ou mais modelos. Menores valores de AIC refletem melhor ajuste (AKAIKE, 1974).

$$AIC = -2\log like + 2p \quad (15)$$

Em que, p: número de parâmetros; e loglike: valor do logaritmo da função de verossimilhança considerando as estimativas dos parâmetros.

O BIC (Equação 16) também considera o grau de parametrização do modelo, e da mesma forma, quanto menor for o valor de BIC, melhor será o ajuste do modelo. É um critério assintótico, cuja adequação está fortemente relacionada com a magnitude do tamanho de amostra. Em relação a penalização aplicada na quantidade de parâmetros, esta será mais rigorosa que o AIC para amostras pequenas.

$$BIC = -2\log like + p\cdot \ln(n) \quad (16)$$

Em que, n: número de observações utilizadas para ajustar a curva.

A difusividade efetiva foi determinada com base na Segunda Lei de Fick, assumindo a forma geométrica de uma placa plana infinita, conforme Equação 17.

$$RX = \frac{8}{\pi^2}\sum_{i=0}^{\infty}\frac{1}{(2i+1)^2}\exp\left[-\frac{(2i+1)^2\pi^2 D.\,t}{4}.\left(\frac{S}{V}\right)^2\right] \quad (17)$$

Em que, RX: razão de teor de água, adimensional; D: coeficiente de difusão efetivo, $m^2\ s^{-1}$; i: número de termos.

O volume e a área superficial das fatias de batata-doce foram determinados por meio da medição dos três eixos ortogonais (comprimento, largura e espessura), em quinze fatias de batata-doce, antes de iniciar a secagem, com auxílio de um paquímetro digital. O volume foi calculado de acordo com a expressão (18) e a área superficial por meio da expressão (19);

$$V = S \cdot C \quad (18)$$

Em que, V: volume, m^3; S: área superficial, m^2; C: espessura, m.

$$S = \pi\ \frac{(A.B)}{4} \quad (19)$$

Em que, S: área superficial de uma elipse, m^2; A: maior eixo, m; B: eixo médio, m;

A relação do coeficiente de difusão com a temperatura do ar de secagem foi analisada pela equação (20) de Arrhenius.

$$D_{ef} = D_0 \exp\left(\frac{-E_a}{R.T_a}\right) \quad (20)$$

Em que, D_{ef}: coeficiente de difusão efetivo, $m^2\ s^{-1}$; D_o: fator pré-exponencial, $m^2\ s^{-1}$;

E_a: energia de ativação, J mol^{-1}; R: constante universal dos gases (8,134 kJ $kmol^{-1}\ K^{-1}$);

T_a: temperatura absoluta, K^{-1}.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dez modelos testados apresentaram coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,96 decimal (Tabela 2), com exceção do modelo Verma (3) para a temperatura de 65ºC. Segundo Sozzi e Ramos (2015), quanto mais próximo de 1 o valor de R^2 mais elucidativo o modelo é, e melhor se ajustará aos dados experimentais.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos: do erro médio relativo (P), e erro médio estimado (SE), coeficiente de determinação (R^2), teste de Qui-quadrado (χ^2), obtidos para os modelos (Mod.) ajustados a secagem das fatias da polpa da batata-doce biofortificada.

Mod.	45°C			55°C			65°C			75°C		
	P	SE	R²	P	SE	R²	P	SE	R²	P	SE	R²
2	06,95	0,003	0,992	02,86	0,001	0,999	09,20	0,002	0,996	09,00	0,001	0,997
3	08,82	0,004	0,990	38,07	0,340	0,162	19,45	0,003	0,993	13,17	0,003	0,993
4	22,85	0,012	0,969	21,40	0,008	0,980	34,14	0,006	0,984	33,33	0,015	0,958
5	08,42	0,003	0,990	08,01	0,002	0,996	19,96	0,003	0,993	10,62	0,002	0,994
6	22,84	0,012	0,969	21,40	0,007	0,980	34,14	0,005	0,984	33,33	0,014	0,958
7	05,91	0,003	0,992	03,57	0,001	0,999	04,25	0,002	0,996	06,63	0,001	0,998
8	07,70	0,004	0,992	05,22	0,001	0,998	04,44	0,001	0,996	09,23	0,001	0,997
9	19,09	0,009	0,977	17,89	0,006	0,986	30,48	0,005	0,987	28,17	0,011	0,969
10	22,84	0,012	0,969	21,40	0,008	0,980	34,14	0,006	0,984	33,33	0,003	0,958
11	08,56	0,004	0,990	07,68	0,001	0,997	19,23	0,003	0,993	28,17	0,015	0,969

Comparando os valores de SE entre si, todas as temperaturas de secagem apresentaram reduzidos valores (≤ 0,015), somente o modelo de Verma (3) apresentou valor discrepante e com elevada magnitude para a temperatura de 55ºC (0,340). Observa-se que para as temperaturas de 45 e 55ºC os modelos de Wang e Singh (2), Verma (3), Page (5), Midilli et al. (7), Logaritmico (8), e Dois termos (11) apresentam valores menores que 10% para P, enquanto para 65 e 75°C foram os modelos Wang e Singh, Logaritmico e Midilli et al. que obtiveram baixos valores de P, e se destacam na representação do fenômeno de secagem.

Os modelos considerados satisfatórios em todas as condições de temperatura avaliadas foram Wang e Singh, Logaritmico e Midilli. Esses três modelos apresentaram R² acima de 99,15% e valores de P menores que 10%. Assim, por meio da análise conjunta dos parâmetros estatísticos (R², P, SE) estes modelos apresentaram melhor ajuste ao processo de secagem da polpa da batata.

Para selecionar o melhor modelo (Wang e Singh, Logarítmico e Midilli et al.), adotou-se como preceito complementar os critérios de seleção da Informação de Akaike (AIC) e Informação Bayesiano de Schwarz (BIC), com os valores apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Critérios de seleção de Akaike (AIC) e Bayesiana de Schwarz (BIC) para os modelos Wang e Singh, Logarítmico e Midilli.

Modelos	45ºC	55ºC	65ºC	75ºC

	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC	AIC	BIC
Midilli et al.	-72,33	-68,79	-79,89	-76,35	-56,65	-53,83	-50,82	-48,83
Logarítmico	-66,67	-63,83	-80,01	-77,18	-58,77	-56,77	-47,15	-48,75
Wang e Singh	-68,80	-66,68	-81,47	-79,34	-58,78	-57,09	-49,05	-50,05

Fazendo uma análise conjunta dos critérios de AIC e BIC em que menores valores indicam melhor o ajuste do modelo, verificou-se que para o parâmetro AIC o modelo de Midilli et al. apresentou melhor ajuste nas temperaturas de 45 e 75ºC e o modelo de Wang e Singh para as temperaturas de 55 e 65ºC. Os valores estimados por BIC demostram melhores ajustes experimentais para o modelo Midilli et al. na temperatura de 45ºC e Wang Singh nas temperaturas de 55, 65, 75ºC.

Desta forma, o modelo de Wang e Singh foi selecionado para representar a cinética de secagem da polpa da batata-doce biofortificada, por apresentar melhor ajuste a maioria das condições de secagem. Estudos semelhantes foram realizados por Ribeiro et al. (2014) com banana fatiada e por Gomes et al. (2018) em massa triturada de jambu que também utilizaram os critérios de seleção AIC e BIC para indicar o modelo mais adequado para representação da cinética de secagem destes produtos vegetais.

Na Figura 1, nota-se que as diferentes temperaturas influenciaram na perda de água do material, sendo que a secagem ocorreu em maior celeridade para temperaturas superiores. Segundo Fiorentin et al. (2010) o aumento da temperatura de secagem acelera o processo, promovendo a redução do teor de água mais rapidamente no início da secagem que, consequentemente, ocasiona menor tempo de secagem.

Este comportamento era esperado e foi registrado por outros autores na secagem de fatias de abóbora (Borges et al., 2008); massa fibrosa de mandioca (Castiglioni et al., 2013) fatias de limão (Wang et al., 2018) casca e polpa da banana verde (Gonçalves, 2017) em que elevando a temperatura obtém-se maiores taxas de vaporização da água em menor tempo de secagem.

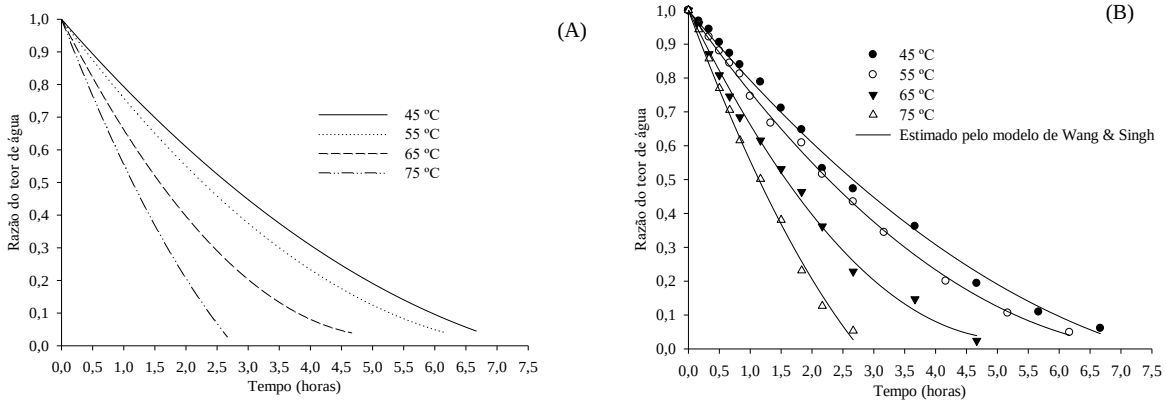

Figura 1. A) Razão do teor de água ao longo do tempo de secagem para as diferentes temperaturas; B) Valores experimentais e estimados pelo modelo de Wang e Singh para a secagem das fatias da polpa da batata-doce biofortificada nas temperaturas de 45, 55, 65 e 75ºC.

O modelo matemático de Wang e Singh foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da secagem da polpa da batata-doce biofortificada nas temperaturas de 45 a 75ºC. Corroborando com Doymaz, (2004a) no trabalho de secagem de ameixas e também na secagem de bagaço de malte (Sousa et al., 2016).

Na Tabela 4 estão apresentados os coeficientes do modelo do modelo de Wang e Singh. Nota-se que com o aumento da temperatura, paralelamente os valores encontrados para o parâmetro "b" se elevaram, e o parâmetro "a" diminui com o aumento da remoção de água.

Tabela 4 - Coeficientes "a" e "b" obtidos do modelo de Wang e Singh para a cinética de secagem das fatias da polpa da batata-doce biofortificada nas temperaturas de 45, 55, 65 e 75°C

Temperatura ºC	Parâmetros do modelo de Wang e Singh	
	A	B
45	-0,2219	0,0117
55	-0,2438	0,0153
65	-0,3732	0,0359
75	-0,4928	0,0480

O coeficiente de difusão aumentou linearmente com a elevação da temperatura do ar de secagem, e a sua influência pode ser descrita por meio da representação de Arrhenius, conforme ilustrado na Figura 2(B). Verifica-se que durante a secagem, os coeficientes de difusão apresentaram magnitudes entre 7,55 x 10^{-11}; 8,9 x 10^{-11}; 13,01 x 10^{-11} e 19,24 x 10^{-11} m^2 s^{-1} para as temperaturas de 45, 55, 65 e 75ºC, respectivamente. Estes resultados corroboram aos obtidos por Fernando et al. (2011) na secagem de banana, mandioca e abóbora fatiadas com valores da ordem de 0,69 x 10^{-10} a 0,52 x 10^{-10} m^2 s^{-1} para banana; 0,80 x 10^{-10}a 1,12 x 10^{-10} m^2 s^{-1} para mandioca e 5,76 x10^{-10}, a 5,60 x 10^{-10} m^2 s^{-1} para abóbora.

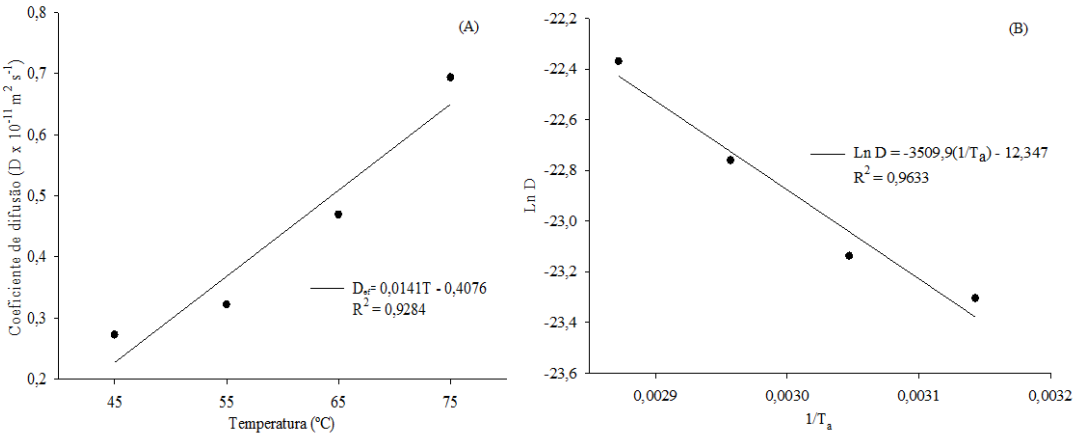

Figura 2. Coeficiente de difusão efetivo (A) e a representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo (B) obtidos para a secagem da polpa de batata-doce biofortificada nas temperaturas de 45, 55, 65 e 75 ºC.

A energia de ativação para a difusão líquida da polpa de batata-doce biofortificada foi de 29,18 kJ mol^{-1}, para a faixa de temperatura entre 45 e 75°C. Corroborando com os resultados obtidos por Doymaz (2004b) que estudaram a secagem de cenoura fatiada com energia de ativação de 28,36 kJ mol^{-1}. De acordo com Corrêa et al. (2010), nos processos de secagem, quanto menor a energia de ativação, maior será a difusividade de água no produto, ou seja, menor será a energia necessária para que a transformação física ocorra e a água na fase líquida passe para vapor (secagem do produto).

4.4. CONCLUSÃO

Dentre os modelos estudados Wang e Singh foi selecionado para representar a cinética de secagem da polpa da batata-doce biofortificada por exibir o melhor ajuste a maioria das condições estudadas. Os critérios de AIC e BIC foram adequados para selecionar um único modelo. O coeficiente de difusão efetivo aumentou com a elevação da temperatura do ar de secagem e a energia de ativação para a difusão líquida foi de 29,18 kJ mol^{-1}.

4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKAIK H (1974) A new look at the statistical model identification. IEEE Transaction on Automatic Control 19: 716-723.

ALEXANDRE HV, SILVA FLH, GOMES JP, SILVA OS, CARVALHO JPD, LIMA

EE (2013) Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 17(6): 640–646.

BORGES SV, MANCINI MC, CORRÊA JLG, NACIMENTO DA (2008) Secagem de fatias de abóboras (Cucurbita moschata, L.) por convecção natural e forçada. Revista Ciências e Tecnologia de Alimentos 28: 245-251.

BURNHAM KP, ANDERSON DR (2004) Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. Sociological methods & research 33(2): 261-304.

CASTIGLIONI GL, SILVA FA, CALIARI M, SOARES JÚNIOR MS (2013) Modelagem Matemática do Processo de Secagem da Massa Fibrosa de Mandioca. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 17(9): 987–994.

CASARIN F, MENDES CE, LOPES TJ, MOURA NF (2016) Planejamento experimental do processo de secagem da amora-preta (Rubus sp.) para a produção de farinha enriquecida com compostos bioativos. Brazilian Journal of Food Technology 19(2): 116-125.

CORRÊA PC, OLIVEIRA GHH, BOTELHO FM, GONELI ALD, CARVALHO FM (2010) Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (Coffea arabica L.) durante o processo de secagem. Revista Ceres 57(5): 595-601.

DIONELLO RG, BERBERT PA, MOLINA MB, PEREIRA RC, VIANA AP, CARLESSO VO (2009) Secagem de fatias de abacaxi in natura e pré-desidratadas por imersão-impregnação: cinética e avaliação de modelos. Ciência e Tecnologia de Alimentos 29(1): 232-240.

DOYMAZ I (2004a) Effect of dipping treatment on air drying of plums, Journal of Food Engineering 64: 465-470.

DOYMAZ I (2004b) Convective air drying characteristics of thin layer carrots. Journal of Food Engineering 61(3): 359-364.

FERNANDO WJN, LOW HC, AHMAD AL (2011) The Effect of Infrared on Diffusion Coefficients and Activation Energies in Convective Drying: A Case Study for Banana, Cassava and Pumpkin. Journal of Applied Sciences 103(4): 310- 316.

FIORENTIN LD, MENON BT, ALVES JA, BARROS STD, PEREIRA NC, MÓDENES N (2010) Determinação da cinética e das isotermas de secagem do bagaço da laranja. Acta Scientiarum Technology 32: 147-152.

GOMES FP, RESENDE O, SOUSA EP, OLIVEIRA DEC, ARAÚJO NETO FR (2018) Drying kinetics of crushed mass of 'jambu': Effective diffusivity and activation energy. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 22(7): 499-505.

GONCALVES JQ, SILVA MAP, PLACIDO GR, CALIARI M, SILVA RM, SOUZA DG, MOURA LC (2017) Cinética de secagem da casca e polpa da banana verde (Musa acuminata): Propriedades físicas e funcionais da farinha. Global Science and Technology 9: 62-72.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; REIS NETO, S. A. (2007) Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 27(1): 135-140.

KIM HW, KIM JB, CHO SM, CHUNG MN, LEE YM, SHU SM, CHE JH, KIM SN, KIM SY, CHO YS, KIM JH, PARK HJ, LEE DJ (2012) Anthocyanin changes in the Korean purple-fleshed sweet potato, Shinzami, as affected by steaming and baking. Food Chemistry 130(4): 966–972.

NASCIMENTO KO, ROCHA DGCM, SILVA EB, BARBOSA JÚNIOR JL, NASCIMENTO MIMJB (2013) Caracterização química e informação nutricional de fécula de batata-doce (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.) orgânica e biofortificada. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável 8(1) 132 - 138.

RIBEIRO TD, MATTOS RWP, MUNIZ JÁ, BORGES SV (2014) Descrição da cinética de secagem de frutos de banana Prata e D'Água por modelos de regressão não linear. Revista da Estatística UFOP 3: 78-85.
SOUSA FT, SILVA MAS, OLIVEIRA DEC, PLACIDO GR, CAGNIN C, MOURA LC, SOUZA DG, CALIARI M, LIMA MS (2016) Modelagem matemática da secagem e propriedades físicas e funcionais do bagaço de malte. Global Science and Technology 9(3): 51 – 61.
SOZZI G, RAMOS DS (2015) Avaliação do ágio no preço da energia convencional no mercado brasileiro de contratos de curto prazo: metodologia e aplicação. Revista Espaço Ciência 22: 24-32.
WANG J, LAW C, NEMA PK, ZHAO J, LIU Z, DENG L, GAO Z, XIAO H (2018) Pulsed vacuum drying enhances drying kinetics and quality of lemon slices. Journal of Food Engineering, v. 224, p. 129-138.
TONTUL I, TOPUZ A (2017) Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. Trends in Food Science & Technology 63: 91-102.

CAPÍTULO II

(Normas de acordo com a revista Engenharia Agrícola)

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, TECNOLÓGICA E FUNCIONAL DE FARINHA DE BATATA-DOCE BIOFORTIFICADA SECA EM DIFERENTES TEMPERATURAS

PHYSICAL-CHEMICAL, TECHNOLOGICAL AND FUNCTIONAL CHARACTERIZATION OF DRYED BIOFORTIFIED SWEET POTATO FLOUR IN DIFFERENT TEMPERATURES

RESUMO: A batata-doce (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.) da polpa alaranjada é fonte abundante de carotenoides, o processamento dos tubérculos como farinha é uma alternativa para agregar valor e ampliar seu uso resultando em novas aplicações. O objetivo foi caracterizar a farinha da polpa da batata-doce biofortificada seca em diferentes temperaturas de secagem. As batata-doce (acesso CNPH1210) biofortificada foram secas em estufa com ventilação de ar forçada, em quatro condições de temperatura: 45, 55, 65 e 75°C. A secagem prosseguiu até as raízes fatiadas atingissem teor de água de 14% (b.u.). Foram avaliados a composição proximal, pH, acidez, compostos fenólicos, carotenoides, β-caroteno, capacidade antioxidante por ABT e DPPH, cor, microscopia eletrônica de varredura, ressonância magnética de alto campo, espectrometria de absorção de infravermelho, índice de absorção em água, índice de absorção em óleo e índice de absorção em leite. As farinhas obtidas de raízes fatiadas secas a 45, 55, 65 e 75ºC apresentaram estável na sua composição proximal e morfológicas. A temperatura de 45°C foi a mais indicada para produção de farinhas de batata-doce biofortificada, já que apresentou maiores os conteúdos de compostos bioativos, sendo excelente fonte de carotenoides. A farinha apresenta características

tecnológicas favoráveis, pode ser utilizada como cobertura para empanados ou para produtos crocantes.

PALAVRAS-CHAVE: Desidratação; Compostos Fenólicos; β-caroteno; Capacidade Antioxidante; Ressonância magnética; FTIR.

ABSTRACT: The sweet potato *(Ipomoea potatoes (L.) Lam.)* Of the orange pulp is an abundant carotenoids source, the tubers processing as flour is an alternative to add value and expand its use resulting in new applications. The objective was to characterize the biofortified sweet potato pulp flour dried at different drying temperatures. The biofortified sweet potatoes (access CNPH1210) were dried in an oven with forced air ventilation, in four temperature conditions: 45, 55, 65 and 75°C. Drying continued until the sliced roots reached a water content of 14% (b.u.). Proximal composition, pH, acidity, phenolic compounds, carotenoids, β-carotene, antioxidant capacity by ABT and DPPH, color, scanning electron microscopy, high-field magnetic resonance, infrared absorption spectrometry, water absorption index were evaluated, as well as oil absorption index and milk absorption index. Flours obtained from sliced roots dried at 45, 55, 65 and 75ºC were stable in their proximal and morphological composition. The temperature of 45°C was the most suitable for the biofortified sweet potato flours production, since it had a higher bioactive compounds content, being an excellent source of carotenoids. The flour has favorable technological characteristics and can be used as a topping for breaded or crunchy products.

KEYWORDS: Dehydration; Phenolic Compounds; β-carotene; Antioxidant Capacity; Magnetic Resonance; FTIR.

5.1. INTRODUÇÃO

A batata-doce (*Ipomoea batatas)* é uma hortaliça tuberosa rústica, de ampla adaptabilidade, cultivada em praticamente todo o território brasileiro (Silva et al., 2004). É uma cultura de grande importância econômica e social, apresentando como vantagens o baixo custo de produção, facilidade de cultivo, colheita prolongada e resistência a pragas e doenças (Silva et al., 2008).

As raízes de batata-doce de polpa alaranjada vêm se destacando em função do seu valor nutricional e funcional, especialmente pela alta concentração de β-caroteno, provitamina A (Van Jaarsvel et al., 2005; Bovell-Benjamin, 2007; Donado-Pestana et al., 2012), bem como antioxidantes (Islam et al., 2016), carboidratos (Zhu & Wang., 2014), fibras (Mullin., 1994), minerais e vitaminas (Suarez et al., 2016).

No Brasil, a comercialização da batata-doce se dá, em quase sua totalidade, na forma de raízes cruas. Mesmo com os indicativos atuais de crescimento do consumo da batata-doce, por associação à alimentação saudável, este ainda é considerado baixo no Brasil, sendo de 405 g ano^{-1} (IBGE, 2009). O acesso e aquisição dos consumidores a essa hortaliça ainda é limitado, a exemplo da região Norte (IBGE, 2009; 2018), seja

pela baixa produção (IBGE, 2020), pelos preços ofertados, que variam grandemente ao longo dos anos (CEAGES, 2020), ou por hábitos alimentares.

Neste contexto, a farinha de batata-doce pode consistir em alternativa para o aumento do consumo e comercialização, pois a hortaliça em forma de farinha, além de ter a vida útil aumentada, pode ser introduzida na alimentação em regiões com menos acesso à raiz *in natura* ou que não possuem o hábito de consumo. A farinha pode ser incorporada a diversos outros produtos, podendo, inclusive, substituir parcialmente a farinha de trigo na fabricação de pães (Nzamwita et al., 2017), bolos, biscoitos e outros produtos (Rodrigues-Amaya et al., 2011).

Estudos demostraram que a farinha de batata-doce pode agregar valor nutricional aos produtos processados pelo alto teor de carotenoides. Ao quantificar compostos bioativos na farinha da batata-doce biofortificada, Trancoso-Reyes et al. (2016) observaram valores de carotenoides de 137,49 µg/g, assim como Rodrigues et al. (2016), que obtiveram teores de carotenoides correspondentes a 196,6 µg/g para farinha da batata-doce biofortificada.

Nunes et al. (2016) relataram que pães de forma enriquecido com batata-doce biofortificada apresentaram boa aceitação sensorial. Infante et al. (2017) demonstraram aumento na qualidade nutricional e sensorial de formulações de biscoitos de sorgo enriquecidos com a farinha de batata-doce biofortificada. Estudos realizados por Pereira et al. (2019) demonstraram efeitos positivos da substituição de farinha de trigo pela farinha da batata-doce biofortificada em massas de panetones, incluindo a redução do tempo de fermentação, predominância cor amarela e presença de novos compostos voláteis. Gomes et al. (2017), ao estudar a processo de extrusão de sorgo associado a batata-doce biofortificada, constataram que a adição da batata-doce biofortificada propiciou o aumento da biodisponibilidade de ferro pela presença de β-caroteno.

A secagem é um processo que consiste na aplicação de calor sob condições controlada para remover, por evaporação, a água presente no alimento (Fellows, 2006). Os processos de secagem são utilizados, principalmente, para reduzir o teor de água e atividade da água, com a finalidade de reduzir a atividade enzimática (Madamba et al., 2007; Mocelin et al., 2014) e reações químicas, bem como inibir o crescimento microbiano (Park et al., 2006; Sousa et al., 2011).

No entanto, as condições de secagem da batata-doce em estufa, como a temperatura e o tempo de exposição, podem afetar a qualidade da farinha produzida. Alguns estudos já foram realizados avaliando o impacto da temperatura e tempo de

secagem na composição dos alimentos, Miranda et al. (2010) avaliaram o efeito da temperatura de secagem (40, 50, 60, 70 e 80°C) no conteúdo fenólico e capacidade antioxidante de semente de quinoa, Multari et al. (2018) estudaram a influência da temperatura de secagem (60 e 70ºC) no conteúdo de compostos fenólicos e carotenoides de sementes de quinoa e Liu et al. (2019) observaram o tratamento térmico (65, 80 e 95°C) na composição físico-química de batata.

Assim, no presente estudo objetivou-se determinar a melhor condição de secagem da polpa da batata-doce biofortificada para a manutenção de seus nutrientes.

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Matéria-prima, padrões e reagentes

As raízes de batata-doce biofortificada (genótipo CNPH1210) foram desenvolvidas pela Embrapa Hortaliças (Brasília, DF, Brasil) e cultivadas em campo experimental do Instituto Federal Goiano (Rio Verde, GO, Brasil). O ácido sulfúrico foi adquirido da Sigma-Aldrich Chemical Co. (St. Louis, MO, EUA). O hidróxido de sódio da Sigma-Aldrich (Duque de Caxias, RJ, Brasil). O hexano da Labsynth (Diadema, SP, Brasil). O Éter de Petróleo do Neon (São Paulo, SP, Brasil). A acetona Labsynth (Diadema, SP, Brasil). Amyloglucosidase, Protease, α-Amylase Sigma-Aldrich. (St. Louis, MO, EUA). DPPH (2,2- difenil-1-picril-hidrazila), ABTS (2,2-azinobis (3-ethyl-benzothiazoline-6-sulfonic acid) Sigma-Aldrich. (St. Louis, MO, EUA). Padrão de β-caroteno da Sigma -Aldrich Chemical Co. (St. Louis, MO, EUA), Ácido gálico da Vetec (Jaraguá do Sul, SC, Brasil) Folin-Ciocalteu da Sigma -Aldrich Chemical Co. (St. Louis, MO, EUA) e Trolox da Sigma -Aldrich Chemical Co. (St. Louis, MO, EUA).

5.2.2. Preparação das farinhas de batata-doce

A batata-doce utilizada para o experimento apresentava teor de água inicial de 74% (b.u.). As raízes foram lavadas e descascadas manualmente e, em seguida, a polpa foi fatiada em formato chips nas dimensões aproximadas de 4,6 x 4,0 x 0,2 cm (comprimento, largura e espessura) (Borges et al., 2008), com um ralador doméstico. As fatias foram secas em estufa com circulação de ar, com velocidade de 1,0 m s^{-1} e quatro diferentes temperaturas: T1: 45 °C por 7 h, T2: 55°C por 6 h, T3: 65 °C por 5 h e T4: 75°C por 3 horas, o teor de água foi padronizado pelo cálculo de porcentagem de quebra para 14%. Cada amostra, composta por 0,3 kg de raízes, foi distribuída uniformemente

em camadas de 1,2 cm de altura em bandejas de alumínio retangulares (25 x 10 cm), sem perfuração. Após a secagem, as amostras foram moídas em moinho (Tecnal TE-650, Piracicaba, SP, Brasil) e embaladas em sacos plásticos de polipropileno, seladas e armazenadas a 4ºC em câmaras tipo B.O.D. na ausência de luz até serem analisadas.

5.2.3. Teor de água

O teor de água foi determinado pelo método de secagem em estufa (AOAC, 2000). Foram pesados 2 g da farinha da batata-doce biofortificada em cápsulas de alumínio previamente secas a 105ºC em estufa com circulação de ar (Marconi MA-035, Piracicaba, SP, Brasil). As amostras foram mantidas em estufa até apresentarem massa constante.

5.2.4. Determinação de proteína

A proteína bruta foi determinada pelo método de Kjeldahl, que expressa o teor de nitrogênio orgânico total (AOAC, 2000). Foi pesado 0,25 g da amostra de farinha de batata-doce. Os tubos contendo a amostra e o ácido sulfúrico foram colocados no bloco digestor com aquecimento a 330°C até a digestão completa da amostra (coloração verde-claro). Após a digestão, as amostras foram destiladas em destilador de nitrogênio (Tecnal TE-0364, Piracicaba, SP, Brasil). A solução destilada foi titulada com ácido sulfúrico 0,05 M até coloração rósea.

5.2.5. Determinação de lipídeos

Os lipídeos foram analisados pelo método de Soxhlet (AOAC, 2000). Foram pesados 5 g de cada farinha. As amostras foram transferidas para o extrator de soxhlet (Químis Q-328G26, Diadema, SP, Brasil), que foi conectado aos balões de fundo chato previamente secos em estufa de circulação de ar forçada a 105°C. Foram, então, adicionados 450 mL de hexano P.A. ao extrator. O tempo de extração foi de 8 h. O resíduo extraído foi levado à estufa de circulação de ar forçada a 105°C por 1 h e resfriado em dessecador até a temperatura ambiente. As operações de aquecimento e pesagem foram repetidas a cada 30 min até obtenção das massas constantes.

5.2.6. Determinação de cinzas

Para determinação de cinzas, foram pesados 2 g de farinha de batata-doce biofortificada em cadinhos de porcelana, com massa previamente estabelecida. Os

cadinhos com as amostras foram colocados na mufla (Químis Q-318S, Diadema, SP, Brasil) a 550°C ± 15°C e permaneceram até completa calcinação da matéria orgânica (cerca de 5 h). As amostras foram resfriadas em dessecador e pesadas (AOAC, 2000).

5.2.7. Determinação de pH e acidez titulável

Para determinação do pH, foram pesados 5 g da farinha de batata-doce biofortificada e, em seguida, foram adicionados 50 mL de água destilada. As amostras foram agitadas até formar uma suspensão uniforme (cerca de 10 min). Em seguida, o pH foi lido em pHmetro digital (Bel S3BW, Belo Horizonte, MG, Brasil) (AOAC, 2000). Para as análises de acidez titulável, foram utilizadas as mesmas soluções preparadas para a leitura do pH. A suspensão foi filtrada em papel de filtro Whatman nº 4 para remover o resíduo. A titulação foi realizada com solução de hidróxido de sódio 0,1 N, sob agitação constante, até a solução atingir o pH de 8,2. Os resultados foram expressos em ácido cítrico (g 100 g^{-1}) (Zenebon & Pascuet, 2005).

5.2.8. Compostos fenólicos totais

A determinação espectrofotométrica dos compostos fenólicos foi realizada de acordo com metodologia descrita por Singleton (1965), utilizando-se o reagente de Folin-Ciocalteu. Os extratos da farinha da batata-doce biofortificada foram preparados utilizando 1 g de farinha e 20 mL de etanol 70%. A solução foi homogeneizada por 15 min e, após, foram filtradas em papel de filtro Whatman nº 4. A absorbância foi lida a 765 nm em espectrofotômetro (Biospectro SP-220, São Paulo, SP, Brasil).

5.2.9. Atividade antioxidante: ensaios com DPPH e ABTS

A capacidade antioxidante pelo radical estável 2,2- difenil-1-picril-hidrazila (DPPH) foi avaliada seguindo procedimento adaptado de Brand-Williams et al. (1995). Foram adicionados 100 μL de extratos previamente preparados para a análise de compostos fenólicos e 3,9 mL de solução de DPPH. Em seguida, a solução foi homogeneizada em agitador de tubos (Merse M81, Taquara, RJ, Brasil). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Biospectro SP-220, São Paulo, SP, Brasil) a 517 nm, após 30 min do início da reação.

Para a determinação da capacidade antioxidante por ABTS (2,2-azinobis (3-ethyl-benzothiazoline-6-sulfonic acid), uma alíquota de 30 μL do extrato foi transferida para tubos de ensaio com 3,0 mL do radical ABTS e homogeneizada. As leituras das

amostras foram realizadas em espectrofotômetro a 734 nm, após 6 min da mistura. A capacidade de purgar o radical ABTS e DPPH foi determinada utilizando curva padrão obtida com Trolox (0 a 300 μmol L^{-1}) e ABTS·+ e DPPH**.** Os resultados foram expressos em Trolox (μmol 100 g^{-1}).

5.2.10. Carotenoides totais

Para a determinação de carotenoides totais foi usado 1 g da farinha de batata-doce biofortificada e 50 mL de acetona e, após, a mistura foi homogeneizada (Marconi MA102, Piracicaba, SP, Brasil) por 1 min. Esse extrato foi filtrado a vácuo em funil de Buchner com papel filtro Whatman nº 4 e o filtrado foi recolhido em kitasato. A extração foi repetida até o resíduo estar branco. Foram colocados 40 mL de éter de petróleo. Foram acrescentados 250 mL de água destilada e, após a separação da fase aquosa inferior, foi repetida a lavagem por mais três vezes para remover toda acetona. A fase etérea foi coletada em um balão volumétrico de 50 mL e as leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 450 nm (Rodrigues-Amaya, 2001). Os resultados foram expressos em μg g^{-1}.

5.2.11. β-caroteno

A determinação de β-caroteno foi realizada conforme Rodrigues-Amaya (2001). Foram utilizados os extratos previamente preparados para a análise de carotenoides totais. Uma alíquota de 5 mL de extrato seco em nitrogênio líquido foi coletada e ressuspendida em 5 mL de acetona. O β-caroteno foi quantificado em cromatógrafo líquido de alta eficiência (HPLC) SPD-M20A (Shimadzu Co., Kyoto, Japão), com coluna C18 (ODS Hypersil 150 × 4,6 mm, 5 μm), fase móvel acetonitrila, metanol e acetato de etila (proporção variando de 10 a 80% em 22,5 min), fluxo de 0,8 mL min^{-1}, detector arranjo de fotodiodos (PDA) com varredura de 300 a 550 nm, temperatura da coluna de 22°C e padronização externa. A identificação do β-caroteno se deu com a comparação do tempo de retenção dos picos encontrados para as amostras com os obtidos a partir de padrão comercial (Sigma-Aldrich, São Paulo, SP, Brasil). Os resultados foram expressos em μg g^{-1}. O software utilizado para coletar os dados foi o *Labsolution* (versão 5.57).

5.2.13. Determinação de fibra alimentar

O conteúdo de fibra alimentar total, solúvel e insolúvel das farinhas de batata-doce biofortificada, foi determinado pelo método enzimático gravimétrico descrito pela AOAC (1995), adaptado por Freitas et al. (2008). Devido ao baixo teor de lipídios das farinhas não foi necessário desengordurá-las. As amostras foram hidrolisadas pela α-amilase termorresistente (A-3306 Sigma), protease (P-3910 Sigma) e amiloglicosidase (A-9913 Sigma), para a remoção de proteína e amido. Após hidrólise enzimática, a fibra insolúvel foi filtrada e separada, e a fibra solúvel precipitada utilizando quatro volumes de etanol (95%). A solução alcoólica foi então filtrada e os resíduos precipitados foram lavados com etanol (95%) e acetona, secos e pesados. A fibra alimentar total foi calculada a partir da soma da fibra alimentar insolúvel e fibra alimentar solúvel.

5.2.14. Cor

A cor foi medida à temperatura ambiente utilizando Colorímetro Hunter Lab (Color Flex EZ, Reston, Virgínia, USA). Os resultados foram expressos em coordenadas de cores (L* a* b*). Os valores de L* (luminosidade ou brilho) variam do preto (0) ao branco (100), os valores de a* variam do verde (–60) ao vermelho (+60) e os valores de b* variam do azul ao amarelo, ou seja, de –60 a +60, respectivamente. Foram calculados a cromaticidade (C*) e o ângulo ºHue (McGuire, 1992).

5.2.15. Microscopia Eletrônica de Varredura

A análise microestrutural foi utilizada para avaliar a morfologia de partículas de farinha, principalmente grânulos de amido, em microscópio eletrônico de varredura eletrônica (JSM-6610 Jeol®), equipado com EDS, ThermoScientific NSS Spectral Imaging. As amostras foram previamente desengorduradas pelo método de Soxhlet (AOAC, 2000), alocadas em *stubs* de alumínio com fita dupla face, banhadas por um filme ultrafino de ouro (material eletricamente condutivo), permitindo o princípio de funcionamento do MEV, por emissão de feixes de elétrons com voltagem de aceleração de 5 kV por um filamento de tungstênio. As micrografias foram realizadas com aumentos de 500x e 1000x.

5.2.16. RMN alto campo de alta resolução de amostras em estado sólido.

Para a análise de ressonância magnética nuclear (RMN) de carbono 13 (^{13}C) do amido (amostras sólidas) em alta resolução, foi utilizada a sequência de pulsos de polarização cruzada com rotação do ângulo mágico (rotação de 10 KHz) e

desacoplamento de alta potência conhecida como CPMAS. Para a referência do deslocamento químico foi usado o hexametilbenzeno, a linha da metila referenciada em 17,3 ppm. O equipamento utilizado foi um espectrômetro modelo Avance III HD 400 MHz (Bruker, Berlin, Alemanha). Os parâmetros de aquisição empregados para as análises foram tempo de espera de 5 seg, número de varredura 1024 e tempo de contato 1 ms. As amostras (aproximadamente 200 mg) foram colocadas em rotores cilíndricos de óxido de zircônio de 4 mm de diâmetro (Schiller et al., 2001).

5.2.17. Espectrometria de absorção de infravermelho (FTIR)

As análises de espectroscopia de absorção infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) foram realizadas em espectrômetro Vertex 70 (Bruker, Berlin, Alemanha). As amostras foram analisadas por refletância atenuada (ATR) usando como suporte um cristal de diamante. Os espectros foram adquiridos com 32 varreduras e com resolução de 4 cm^{-1}.

5.2.19. Propriedades Tecnológicas

Os índices de absorção em água, leite, e óleo, e índices de solubilidade em água e em leite, foram avaliados de acordo com Anderson et al. (1969), com adaptações. Foram pesados em tubo de ensaio 1,0 g de amostra, e adicionados 10 mL do solvente. Os tubos foram agitados e centrifugados a 3000 rpm durante 40 minutos. O líquido sobrenadante foi transferido para cadinhos de alumínio e submetidos a secagem em estufa a 105°C por três horas. O gel excedente no tubo da centrífuga foi pesado. O índice de absorção foi determinado a partir do resíduo da evaporação e do sobrenadante.

5.2.19. Análise estatística

Foi usado o delineamento inteiramente ao acaso (DIC), com um genótipo de batata-doce, quatro temperaturas de secagem e cinco repetições. Os dados foram analisados usando análise de variância - ANOVA (GLM-ANOVA) do SAS® Statistical Analysis System v. 8.0 (SAS Institute Inc., 1999). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 consta a composição proximal das farinhas de batata-doce biofortificada. Não houve diferença entre as temperaturas de secagem quanto teores de

água, proteínas, lipídeos e cinzas. Os valores médios de teores de água foram de 14,33 (g 100 g^{-1}), proteína de 4,92 (g 100 g^{-1}), lipídeos de 0,55 (g 100 g^{-1}) e cinzas 2,13 (g 100 g^{-1}).

A conservação do conteúdo proteico nas amostras secas nas diferentes temperaturas, provavelmente, sucedeu pela desnaturação de proteínas ocorrer em temperaturas acima de 80°C (Creighton, 1993; Damodaran, 1996).

Os lipídeos apresentaram estabilidade em temperaturas de 45°C a 75°C. Usualmente, a oxidação lipídica ocorre em temperaturas superiores a 150°C (Lajolo e Mercante, 2017; Patel et al., 2019). E o conteúdo de minerais não sofre modificações por exposição ao calor (Miler, 2010).

Nascimento et al. (2013) avaliaram a composição proximal de farinha de batata-doce biofortificada secas a 65°C, e observaram valores semelhantes para proteínas (5,48 g 100 g^{-1}), lipídeos (0,60 g 100 g^{-1}) e cinzas (2,88 g 100 g^{-1}).

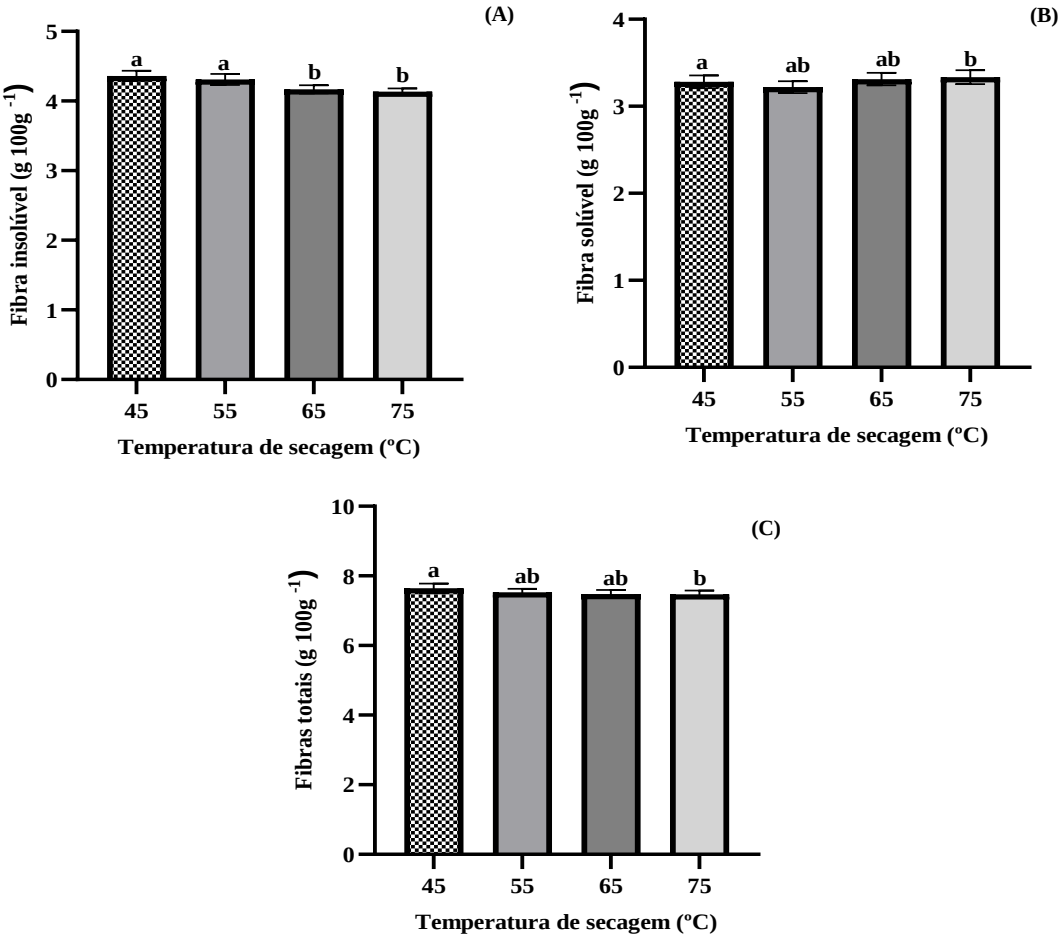

Figura 1. (A) fibras solúveis, (B) insolúveis e (C) totais (g 100 g^{-1}), de farinhas de batata-doce biofortificada, secas a 45; 55; 65 e 75°C.

Os teores de fibras totais, solúveis e insolúveis (Figura 1) das amostras secas a 75ºC apresentaram menores que os teores encontrados nas amostras secas a 45ºC. O processamento térmico reduz o conteúdo de fibras por causa da solubilização e posterior degradação dos componentes de fibras alimentares (Arrigoni et al., 1986). Valores próximos foram relatados no estudo de batata-doce biofortificada com 4,47 g 100 g^{-1} para fibras solúveis e 4,60 g 100 g^{-1} para fibras insolúveis (Mullin, 1994).

As amostras diferiram quanto ao pH (Figura 2A) e acidez (Figura 2B). As amostras apresentaram pH variando de 6,12 a 5,79 e acidez 0,48 a 0,56 g 100 g^{-1}. Com o aumento da temperatura, houve redução no pH e aumento da acidez das amostras.

É possível ter ocorrido a hidrólise dos açúcares, já que o processo de aquecimento promove reações de decomposição do açúcar em ácidos (Ribeiro e Seravalli, 2007). A possível formação destes ácidos pode ter ocasionado a redução do pH e consequentemente o aumento da acidez.

Valores semelhantes foram relatados por Borba et al. (2005), que observaram pH 5,7 para farinha de batata-doce biofortificada seca a 40°C e acidez de 0,52 g 100 g^{-1} para farinha de batata-doce seca a 60°C (Araújo et al., 2016).

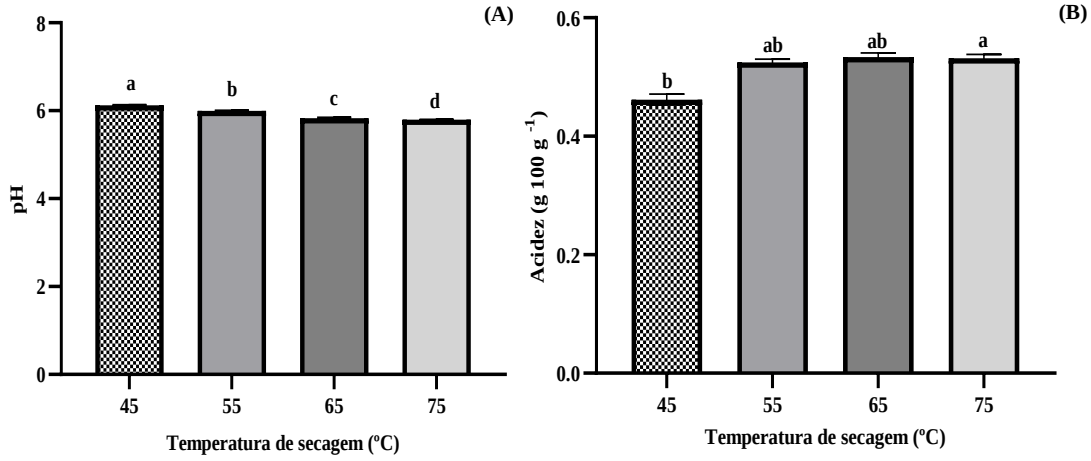

Figura 2. (A) pH e (B) acidez titulável (ácido cítrico g 100 g^{-1}) das farinhas de batata-doce biofortificada, secas a 45; 55; 65 e 75°C.

A degradação dos compostos bioativos foi maior com o aumento da temperatura de secagem (Figura 3). Quanto mais alta a temperatura e a umidade relativa do ar de secagem, mais rápidas são as reações químicas no interior do alimento (Lajolo e Mercadante, 2018).

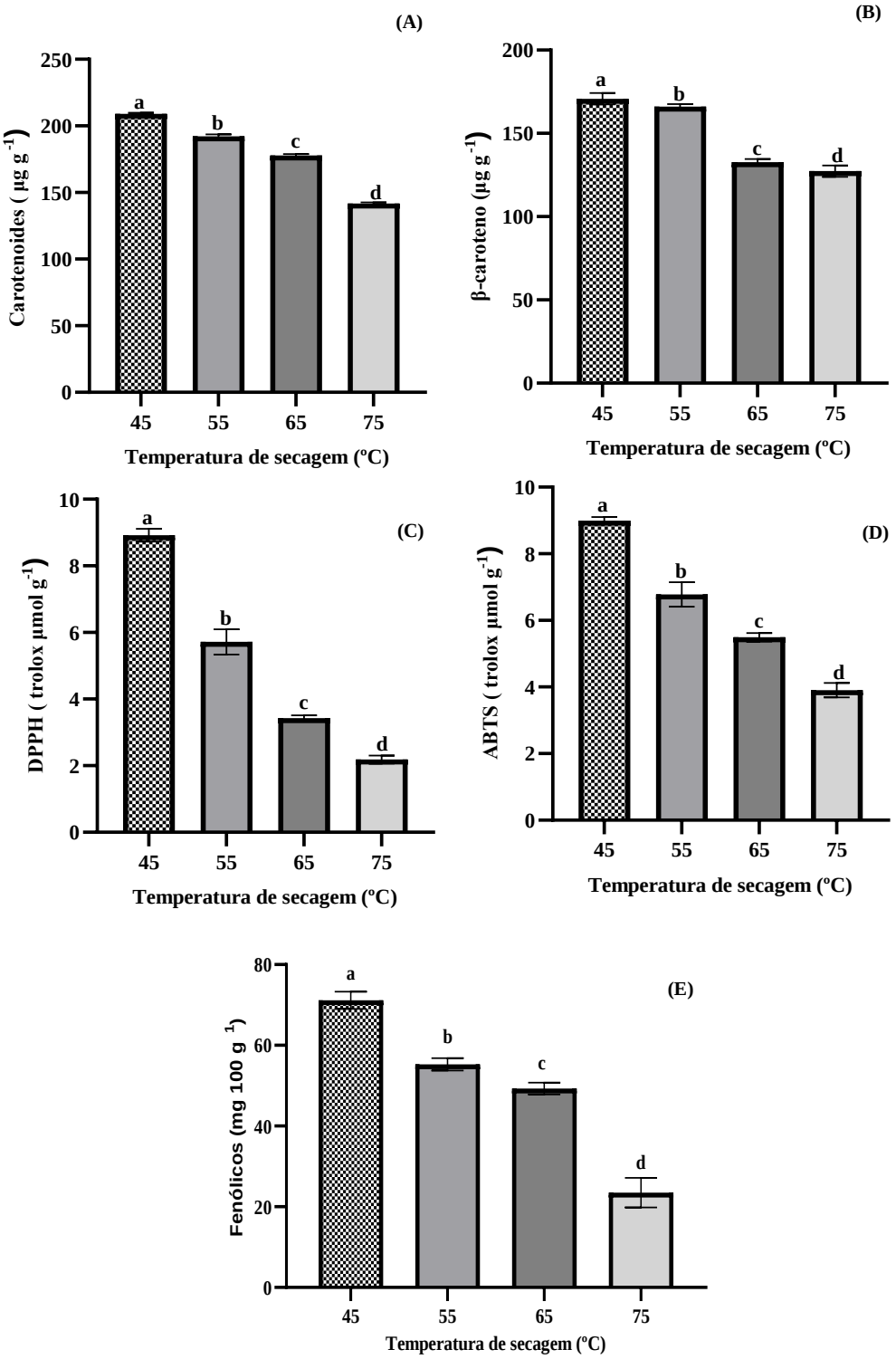

Figura 3. (A) carotenoides totais (µg g^{-1}), (B) β-caroteno (µg g^{-1}), atividade antioxidante por (C) DPPH (trolox µmol g^{-1}), (D) ABTS (trolox µmol g^{-1}) e (E) Compostos fenólicos (mg 100 g^{1}) de farinhas de batata-doce biofortificada, secas a 45; 55; 65 e 75°C.

A elevação da temperatura de secagem proporcionou maiores perdas nos carotenoides (Figura 3A). A temperatura mais alta e a presença de oxigênio no processo

de secagem em estufa proporcionaram ambiente mais favorável à ocorrência de reações oxidativas. A degradação de carotenoides compreende várias transformações simultâneas: isomerização com a formação de produtos oxidativos e compostos voláteis (Zepka et al., 2009; Zepka & Mercadante, 2009; Zepka et al., 2014).

Hagenimana et al. (1999) observaram que a secagem de fatias de batata-doce em estufa a 6 ºC por 12 h reduziu o conteúdo total de carotenoides em 30%. Bechoff et al. (2009) relataram que as perdas de β-caroteno, após o processo de secagem de batata-doce variaram entre 16 e 34%.

Observou-se que o aumento das temperaturas de secagem proporcionou as maiores perdas destes compostos fenólicos. De forma similar, Donado-Pestana et al. (2012) relataram que o processamento térmico diminuiu os teores de compostos fenólicos em farinha de batata-doce biofortificada. Outros autores também relataram a perda desses compostos pela degradação térmica (Miranda et al., 2009; Pedreschi et al., 2011).

O processamento térmico afeta negativamente os teores de compostos fenólicos, provocando o amolecimento e ruptura das células e, assim, facilitando a sua hidrólise (Arruda et al., 2005).

A capacidade antioxidante das amostras de farinhas de batata-doce reduziu significativamente com o aumento da temperatura de secagem (Tabela 3C). Isso pode ter ocorrido em função da redução dos compostos bioativos nas amostras pela degradação térmica (Tang et al., 2015). Estudos relatam menor capacidade antioxidante com aumento da temperatura durante a secagem (Roy et., 2007; Negri et al., 2009; Garcia-Perez et al., 2010; Djendobi et al., 2012).

Os valores médios de cor estão apresentados na (Figura 4). O aumento da temperatura de secagem favoreceu o aumento da luminosidade (L*), isto é, um clareamento das amostras, que variaram de 72,40 a 74,69. Junior et al. (2018) também relataram valores semelhantes correspondentes a 71,70 em chips de batata-doce biofortificada secas a 65°C.

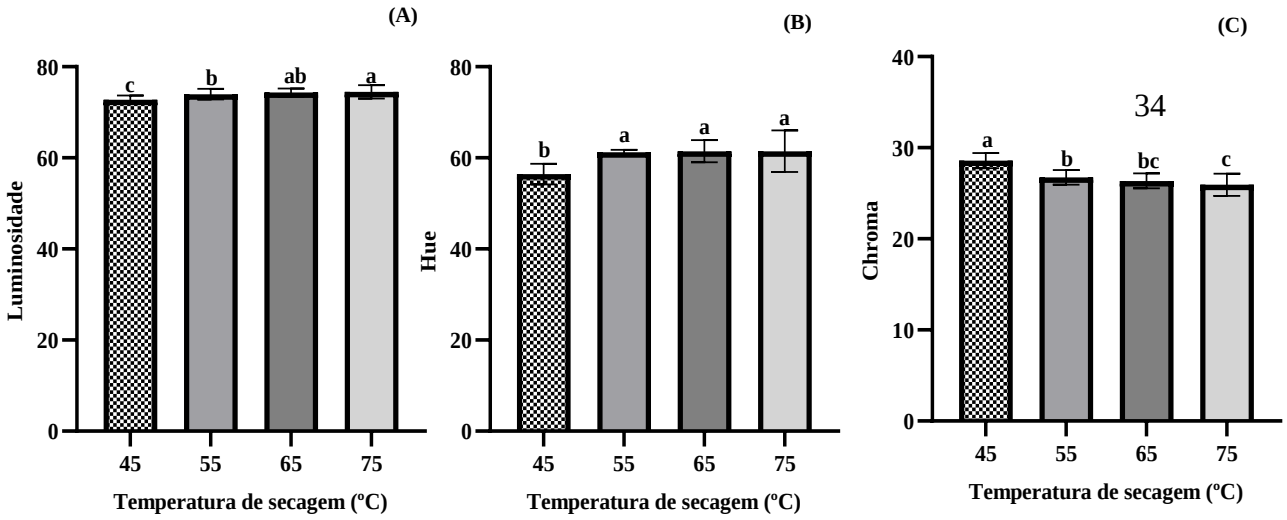

Figura 4. Valores médios dos parâmetros de cor (A) L*, (B) °h, (C) C* de farinhas de batata-doce biofortificada secas a 45; 55; 65 e 75°C.

Para o ângulo Hue, a farinha obtida por secagem a 45°C apresentou menor valor entre as demais (Figura 4). Os valores de cromaticidade (saturação) reduziram com o aumento da temperatura de secagem. Os valores baixos de saturação estão associados às colorações mais pálidas.

Na Figura 5 estão apresentadas as microestruturas das amostras de farinha de batata-doce biofortificada. Os corpos de proteínas (P) geralmente possuem formatos esféricos, os grânulos de amido (A) podem apresentar formatos ovais com lipídeos (L) aderidos em sua superfície (Damodaran et al., 2010) e as fibras (F) são estruturas porosas e irregulares (Santana e Gasparetto, 2009). Estas características podem ser identificadas nas imagens obtidas das farinhas de batata-doce (Figura 5).

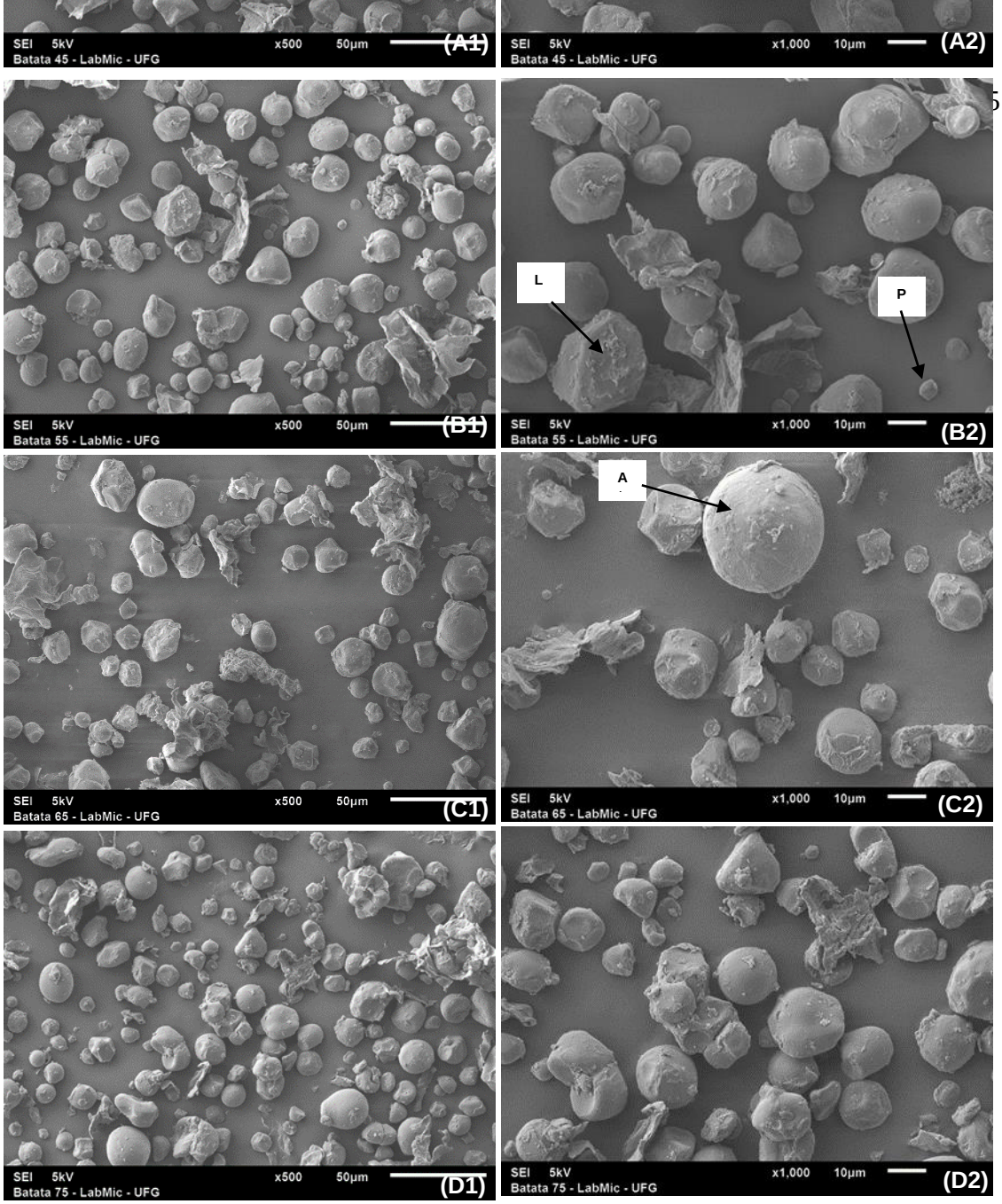

Figura 5. Microestrutura eletrônica de varredura de farinhas das batata-doce biofortificada, secas a (A1) 45°C aumento de 500X, (A2) 45°C aumento 1000X; (B1) 55°C aumento de 500X, (B2) 55°C aumento de 1000X; (C1) 65°C aumento de 500X, (C2) 65°C aumento de 1000X; (D1) 75°C aumento de 500X, (D2) 75°C aumento de 1000X. Nas imagens, as letras em destaque remetem as seguintes estruturas: A – amido; F – fibra; L – lipídeos; e P – proteína.

Não houve mudança morfológica no material com a variação de temperatura entre 45 a 75°C. Pode-se notar que o formato, a distribuição aparente de tamanho e os tipos de estruturas encontradas foram semelhantes. Gonçalves et al. (2009), ao analisar o efeito do tratamento térmico em amido de batata-doce, observaram que não houve

alterações nas estruturas do amido. Os autores relatam que os grânulos apresentaram formatos ovalados e poligonais, com superfícies lisas, sem evidências de quebras ou rachaduras após o tratamento térmico a 90ºC em estufa por 16 h e micro-ondas por 1 h.

Na Figura 6 estão apresentados os espectros de infravermelho transformada de Fourier (FTIR) de absorção das amostras de farinha de batata-doce biofortificada, que são característicos do amido (Craig et al., 2015).

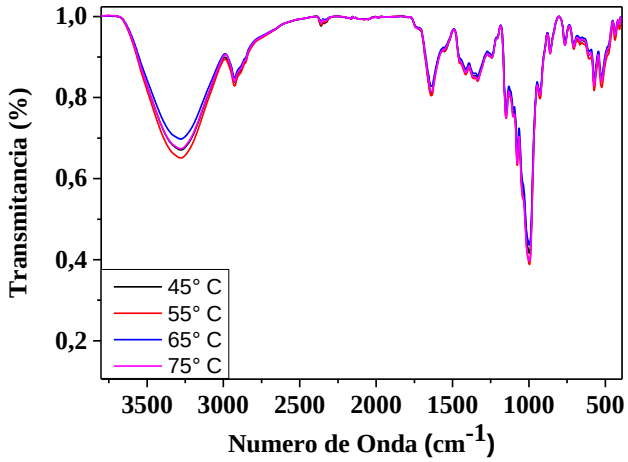

Figura 6: Espectros de infravermelho transformada de Fourier (FTIR) de absorção das amostras de farinha de batata-doce biofortificada secas a 45; 55; 65 e 75°C.

O sinal largo entre 3000 e 3500 cm^{-1} é por causa dos estiramentos simétricos das ligações O-H, o sinal entre 2960 e 2860 cm^{-1} são devido aos estiramentos simétricos e assimétricos das ligações C-H, o sinal entre 1680 e 1600 cm^{-1} é devido ao estiramento assimétricos dos grupos O-H e o sinal intenso entre 1160 e 900 cm^{-1} é relativo a estiramento simétrico das ligações C-O.

Como todos os espectros foram praticamente idênticos, verificou-se, então, que não houve alterações entre as amostras secas em diferentes temperaturas de secagem, assim como verificado nas análises de microscopia de varredura eletrônica.

Na Figura 7A estão os sinais de RMN de 13C obtidos com o método CP-MAS para as diferentes amostras de farinhas de batata-doce biofortificada e na Figura 6b apresenta a expansão dos espectros entre 55 e 90 ppm. Na Figura 6A o sinal a cerca de 102 ppm é o sinal do carbono 1 das moléculas de glicose, o sinal a cerca de 82,5 do carbono 4, o sinal entre 77 e 67 aos carbonos 2, 3 e 5 e o sinal a cerca de 63 ppm a carbono 6.

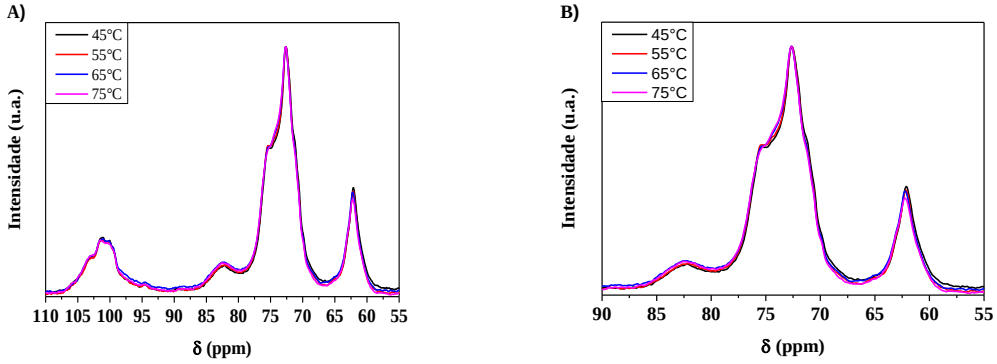

Figura 7: Sinais obtidos pelo método de CP-MAS de farinhas de batata-doce biofortificada secas a 45; 55; 65 e 75°C.

Na Figura 7B é possível observar que há pequena diferença no sinal mais intenso a cerca de 75 ppm, que é uma indicação que nas temperaturas de 65 e 75°C pode ter ocorrido alteração na razão cristalina/amorfa do material, em relação as amostras desidratadas nas temperaturas de 45 e 55°C em que o material absorve mais água, que por sua vez possui maior mobilidade.

Quando as moléculas de amido são aquecidas, parte da estrutura perde cristalinidade, e as moléculas de água formam pontes de hidrogênio entre a amilose e amilopectina formando as regiões amorfas (Singh et al., 2003).

Nas amostras de 65 e 75°C pode ter ocorrido a retogradação do amido com formação de zonas mais cristalinas. No processo de retrogradação do amido, as moléculas que foram aquecidas formam um gel, ao ser resfriado ocorre formação de ligações de hidrogênio com formação de estrutura cristalina. (Yu et al., 2009; Jiamjariyatam et al., 2015).

Na Figura 8 consta índice de absorção em água e o índice absorção em óleo. O índice de absorção em água das amostras reduziu com aumento da temperatura de secagem, as amostras secas na temperatura de 45 e 55°C diferiram das 65 e75°C (Figura 8A). O índice de absorção em água indica a quantidade de água absorvida, sendo que alta capacidade de absorção de água em farinhas é desejável para o preparo de sopas, mingaus e pudins instantâneos (Anderson et al., 1969, Torres et al., 2005).

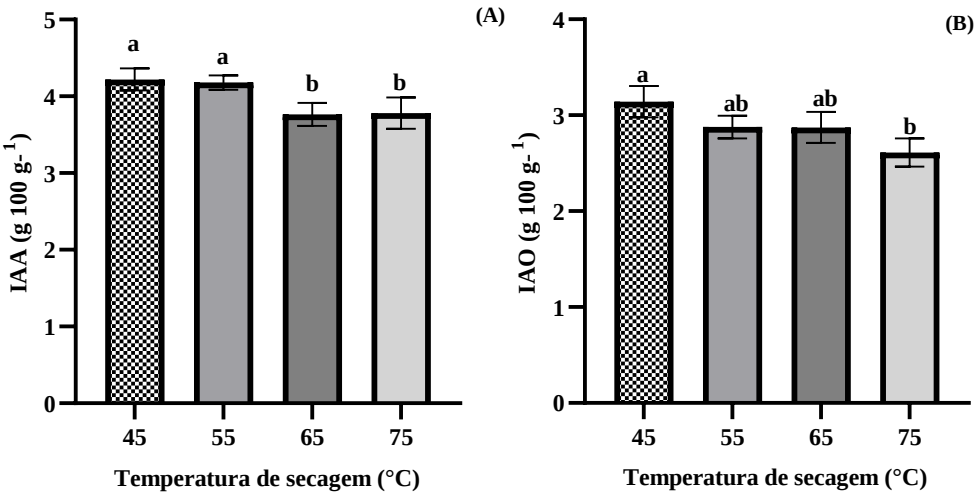

Figura 8: (A) índice de absorção em água (IAA) e (B) índice de absorção em óleo (IAO).

O índice de absorção em água está associado principalmente ao elevado teor de fibras presentes nas farinhas (Porte et al., 2011), neste trabalho pode-se observar que o conteúdo de fibra das amostras reduziu com o aumento da temperatura de secagem, fator que pode ser o responsável pelos maiores valores encontrados nas amostras secas à 45 e 55°C. Esta característica também foi observada nos sinais obtidos na ressonância magnética nuclear, em que as amostras secas a 45 e 55°C absorve mais água e possui maior mobilidade.

O índice de absorção em óleo foi observado que somente as amostras de 45 e 75°C diferiram entre si (Figura 8B). Esta característica confere propriedades de consistência, adesão e viscosidade, melhorando a textura e facilitando na substituição de outros ingredientes em formulações alimentares (Rodriguez-Ambriz et al., 2005).

A redução no índice de absorção em óleo pode estar associada com a baixa hidrofobicidade dos constituintes da farinha, dificultando a interação entre proteínas e óleo. A absorção de gordura varia em função do número de grupos hidrofóbicos expostos da proteína e da interação destes com as cadeias hidrofóbicas da gordura (Dench et al., 1981).

O índice de absorção em leite não variou, obtendo valores médios de 4,02 (g 100 g^{-1}). Esta propriedade é importante quando se pretende elaborar produtos como cereais matinais ou produtos à base de leite como alimentos infantis instantâneos, sobremesas lácteas, requeijão e doces (Becker, 2010).

5.4. CONCLUSÕES

As temperaturas de secagem não alteraram a composição proximal, índice de absorção em leite, estruturas morfológicas e espectros de infravermelho das amostras

secas a 45, 55, 65 e 75°C. Para estas características as farinhas podem ser produzidas na temperatura de 75°C proporcionando economia no tempo de secagem.

Os compostos fenólicos, capacidade antioxidante, carotenoides, β-caroteno, cor, índice de absorção em água, índice de absorção em óleo reduziram com o aumento da temperatura de secagem, assim como nos sinais de ressonância magnética nuclear ocorreu pequena alteração na razão cristalina/amorfa das amostras secas a 65 e 75°C. A temperatura de 45°C foi a mais indicada para produção das farinhas, já que apresentaram maiores conteúdos de compostos bioativos, sendo importante fonte de carotenoides.

Os índices de absorção em leite, óleo e em água apresentaram baixos valores em todas as temperaturas avaliadas. A farinha pode ser utilizada como cobertura adicionada aos produtos fritos e por causa do baixo índice de absorção em óleo se tornam produto mais saudável. E também pode ser utilizada para produção de biscoitos e cookies, pois o baixo índice de absorção em água é desejável para manter as propriedades de crocância.

5.5. AGRADECIMENTOS

Ao IF Goiano, à Embrapa Hortaliças, à Embrapa Instrumentação, ao Labmic, CAPES, FAPEG, FINEP e CNPq, pelo apoio financeiro indispensável para execução deste trabalho.

5.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON RA, CONWAY VFP, GRIFFIN EL (1969) Gelatiniozation of corn grits by roll-and extrusion-cooking. Cereal Science Today (14) 1: 4-7.

AOAC (1995) AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. Approved Methods of the American Association of Cerel Chemists. 9th ed. St Paul.

AOAC (2000) ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official** Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Arlington: A.O.A.C. 17th.

ARAÚJO CSP, ANDRADE FHA, GALDINO PO, PINTO MSC (2015) Desidratação de batata-doce para fabricação de farinha. Agropecuária Científica no Semiárido 11 (4) 33-41.

ARRIGONI E, CAPREZ A, AMADO R, NEUKOM H (1986) Chemical composition and physical properties of modified alimentary fibre sources Food Hydrocolloids 1: 57-67.

ARRUDA SF, SOUZA EM, SIQUEIRA E (2005) Carotenoids from malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) leaves protect cells against oxidative stress in rats. International Journal Vitam Nutrition Res 75: 161–168.

BECKER FS (2010) Caracterização de farinhas cruas e extrusadas obtidas a partir de grãos quebrados de diferentes genótipos de arroz. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás.

BECHOFF A, DUFOUR D, DHUIQUE-MAYER C, MAROUZÉ C, REYNES M, WESTBY A (2009) Efeito do ar quente, solar e tratamentos de secagem ao sol na retenção de provitamina A na batata doce de polpa alaranjada Jornal de Engenharia de Alimentos 92: 164- 171

BORBA AM, SARMENTO SBS, LEONEL M Efeitos dos parâmetros de extrusão sobre as propriedades funcionais de extrusados da farinha de batata-doce. Ciência e Tecnologia de Alimentos 25 (4): 835-843.

BORGES SV, MANCINI MC, CORRÊA JLG, NACIMENTO DA (2008) Secagem de fatias de abóboras (*Cucurbita moschata* L.) por convecção natural e forçada. Revista Ciências e Tecnologia de Alimentos 28: 245-251.

BOVELL-BENJAMIN AC (2007) Sweet potato: A review of its past, present, and future role in human nutrition Advances in Food and Nutrition Research 55: 1-59.

BRAND-WILLIAMS W, CUVELIER ME, BERSET C (1995) Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. Lebensmittel-Wissenscha&Technologie 28(1) 25-30.

CEAGES (2020) Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo. Cotações Preços no Atacado. http://www.ceagesp.gov.br/entrepostos/servicos/cotacoes. Acesso 15 fev 2020.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. http://dw.ceasa.gov.br/. Acesso em 20 jan 2020.

CRAIG AP, FRANCA AS, OLIVEIRA LS, IRUDAYARAJ J, ILELEJI K (2015) Fourier transform infrared spectroscopy and near infrared spectroscopy for the quantification of defects in roasted coffees 134 (1): 379–386.

CREIGHTON TE (1993) Proteins: structures and Molecular Properties. W. H. Freeman 1: 158-159.

DAMODARAM S, PARKIN KL, FENNEMA OR (2010) Química de Alimentos de Fennema. 4 ed. Porto Alegre: Artmed 1: 900-941.

DAMODARAN S (1996) Amino acids, peptides, and proteins. In: Food Chemistry, 3nd ed. Fennema, OR. New York: Marcel Dekker Inc 1: 321-430.

DENCH JE, RIVAS RN, CAYGILL JC (1981) Selected functional properties of sesame (Sesamun indicum L.) flour and two protein isolates. Journal of the Science of Food and Agriculture (32) 6: 557-564.

DJENDOUBI NM, BOUDHRIOUA N, KECHAOU N, COURTOIS F, BONAZZI C (2012) Influence of air drying temperature on kinetics, physicochemical properties, total phenolic content and ascorbic acid of pears. Food and Bioproducts Processing 90(3) 433-441.

DONADO-PESTANA C, SALGADO J, OLIVEIRA AR, SANTOS P, JABLONSKI A (2012) Stability of carotenoids, total phenolics and in vitro antioxidant capacity in the thermal processing of orange-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.) cultivars grown in Brazil. Plant Foods for Human Nutrition 67: 262-270.

FELLOWS PJ Desidratação. (2006) In: Tecnologia do processamento de Alimentos. 2 ed, Artmed 1: 321-351.

FREITAS SC, SILVA TS, CARVALHO PGB, TUPINAMBA DD, KOAKUGU SN, CARVALHO AV, MOURA CFH (2008) Embrapa agroindústria de alimentos. Procedimento operacional padrão para determinação de fibras solúveis e insolúveis. 1ºed. Rio de Janeiro.

GARCIA-PEREZ JV, GARCÍA-ALVARADO MA, CARCEL JA, MULET A (2010) Extraction kinetics modeling of antioxidants from grape stalk (Vitis vinifera var. Bobal): Influence of drying conditions. Journal of Food Engineering 101(1) 49-58.

GOMES MJC, INFANTE RA, SILVA B P, MOREIRA MEC, DIAS DM, LOPES RCSO, TOLEDO RCL, QUEIROZ VAV, MARTINO HSD (2017) Processo de extrusão sorgo combinado com bioforti fi ed batata-doce contribuiu para a elevada biodisponibilidade de ferro em Wistar ratos. Jornal da ciência do cereal 75: 213-219.

GONÇALVES MFV, SARMENTO SBS, DIAS CTS, MARQUEZINI N (2009) Tratamento térmico do amido de batata-doce (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.) sob baixa umidade em micro-ondas. Ciências tecnologia alimentos 1: 270-276.

HAGENIMANA V, CAREY EE, OYUNGA MA, IMUNGI JK (1999) Carotenoide em produtos frescos, secos e processados de batata-doce Ecologia de Alimentos e Nutrição 37: 455 -473.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017. Acesso em 20 jan 2020.

INFANTE RA, NATAL DIG, MOREIRA MEC, BASTIANE MID, CHAGAS CGO, NUTTI MR, QUEIROZ VAV, MARTINO HSD (2017) Enriched sorghum cookies with biofortified sweet potato carotenoids have good acceptance and high iron bioavailability. Journal of Functional Foods 38: 89-99.

ISLAM SN, NUSRAT T, BEGUM P, AHSAN M (2016) Carotenoides e β-caroteno em batata-doce de polpa alaranjada: uma possível solução para deficiência de vitamina A. Food Chemistry 199: 628 – 63.

JUNIOR LM, ITO D, RIBEIRO SML, SILVA MG, AGUIRRE JM (2018) Retention of β-carotene in biofortified sweet potato chips after processing. Acta Scientiarum. Technology 42: 1-9.

JIAMJARIYATAM R, KONGPENSOOK V, PRADIPASENA P (2015) Effects of amylose content, cooling rate and aging time on properties and characteristics of rice starch gels and puffed products. Journal of Cereal Science 61: 16–25.

LAJOLO FM, MERCANTE AZ (2017) Série Ciências, Tecnologia, Engenharia de Alimentos e Nutrição: Química e bioquímica de alimentos. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora Atheneu 1: 132-133.

LIU K, HAO Y, CHEN Y, GAO Q (2019) Effects of dry heat treatment on the structure and physicochemical properties of waxy potato starch. International Journal of Biological Macromolecules 132: 1044-1050.

MADAMBA PS, DRISCOLL RH, BUCKLE KA (2007) The thin-layer drying characteristics of garlic slices. Journal of Food Engineering 29: 75-97.

MCGUIRE RG (1992) Reporting of Objective Color Measurements. Hort Science 27(12)1254- 1255.

MILER DD (2010) Minerais. In: DAMODARAN S, PARKIN KL, FENNEMA OR Química de alimentos. 4 ed. Artmed 1: 409 - 444.

MIRANDA M, VEJA-GALVES A, LOPEZ J, PARADA G, SANDERS M, ARANDA M, URIBE E, DISCLA K (2010) Impact of air-drying temperature on nutritional properties, total phenolic content and antioxidant capacity of quinoa seeds (Chenopodium quinoa Willd.). Industrial Crops and Products 32 (3): 258-263.

MOCELIN B, OLIVEIRA JRDL, CHIELLE DP, TANABE EH, BERTUOL DA, SCHWAAB M, MEILI L (2014) Mathematical modeling of thin layer drying of papaya seeds in a tunnel dryer using particle swarm optimization method. Particulate Science and Technology 32: 123-130.

MULLIN W J N, ROSA LBR (1994) Dietary fibre in sweet potato. Food Research International 27: 563–565.

MULTARI S, MARSOL-VALL A, KESKITALO M, YANG B, SUOMELA J (2018) Effects of different drying temperatures on the content of phenolic compounds and

carotenoids in quinoa seeds (Chenopodium quinoa) from Finland. Journal of Food Composition and Analysis 72: 75-82.
NASCIMENTO KO, ROCHA DGCM, SILVA EB, BARBOSA-JUNIOR JL, BARBOSA MIMJ, NASCIMENTO CO (2013) Caracterização química e informação nutricional de fécula de batata-doce (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.) orgânica e biofortificada. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável 8(1): 132-138.
NEGRI MLS, POSSAMAI JC, NAKASHIMA T (2009) Antioxidant activity of "espinheira-santa" - *Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reiss., leaves dried in different temperatures. Revista Brasileira de Farmacognosia 19(2): 1-9.
NENADIS N, WANG LF, TSIMIDOU M, ZHANG HY (2004) Estimation of scavenging activity of phenolic compounds ising the ABTS assay. Journal of Agricultural and Food Chemistry 52(15): 4669-4674.
NUNES OLGS, FERREIRA DTL, SANTOS PRR, BRANDELERO CD (2016) Desenvolvimento de pão de forma enriquecido com batata-doce biofortificada. Higiene Alimentar 30: 108-113.
NZAMWITA M, DUODU KG, MINNAR A (2017) Stability of β-carotene during baking of orange-fleshed sweet potato-wheat composite bread and estimated contribution to vitamin A requerements. Food Chemistry 228: 85-90.
PARK KJ, MORENO MK, BROD FPR (2006) Estudo de secagem de pêra Bartlett. Ciência e Tecnologia de Alimentos 21(3) 288- 292.
PATEL AS, KAR A, PRADHAN RC, MOHAPATRA D, NAYK B (2019) Efeito da temperatura de cozimento na composição próxima, aminoácidos e qualidade das proteínas do biscoito fortificado desnatado de bolo de semente de abóbora (Lagenaria siceraria). Food Science and Technology 106: 247-253.
PATHARE PB, OPARA UL, AL-SAID FA (2013) Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. Food Bioprocess Technol 6: 36–60.
PEDRESCHI R, BETALLALUZ-PALLARDEL I, CHIRINOS R, CUROTTO C, CAMPO D (2011) Impacte f cooking and drying on the phenolic, carotenoid contents Ang in vitro antioxidant capacity of Andean Arracacha (Arracacia xanthorrhiza Bancr.) root. Food Science and Technology International, 17: 319-330.
PERREIRA APA, CLERICI MTP, SCHMIELE M, GIOIA JUNIOR LC, NOJIMA MA, STEEL CJ, CHANG K, PASTORE GM, NABSHIMA EH (2019) Orange- fl Eshed batata-doce fl nosso como um precursor de aroma e cor de panetones garimpeiro. Food Science and Technology 8: 145-151.
PORTE A, SILVA EF, ALMEIDA VDS, SILVA TX, PORTE LHM (2011) Propriedades funcionais tecnológicas das farinhas de sementes de mamão (Carica papaya) e de abóbora (Cucurbita sp). Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais (13) 1: 91-96.
RIBEIRO EP, SERAVALLI EAG (2007) Carboidratos. In: Química de Alimentos. 2 ed, editora Blucher 1: 41-49.
RODRIGUES NR, BARBOSA JJL, BARBOSA MIMJ (2016) Determination of physico-chemical composition, nutritional facts and technological quality of organic 42 orange and purple-fleshed sweet potatoes and its flours. International Food Research Journal 23 (5) 2071-2078.
RODRIGUES-AMAYA DB (2001) A guide to carotenoid analysis in foods. Washington: ILSI - International Life Sciences Institute 1: 64-72.
RODRIGUEZ-AMAYA DB, NUTTI MR, CARVALHO JLV (2011) Carotenoids of sweet potato, cassava, and maize and their use in bread and flour fortification. Flour and

breads and their fortification in health and disease prevention. London; Burlington; San Diego: Academic Press; Elsevier 28: 301-311.
RODRÍGUEZ-AMBRIZ SL, MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ G, GONZÁLEZ JEC, TRUJILLO JPP (2005) Composition and functional properties of Lupinus campestres protein isolates. Plants Foods for Human Nutrition 60: 99-107.
ROY MK, TAKENAKA M, ISOBE S, TSUSHIDA T (2007) Antioxidant potential, anti-proliferative activities, and phenolic content in water-soluble fractions of some commonly consumed vegetables: effects of thermal treatment. Food Chemistry 103: 106-114.
SANTANA M.FS, GASPARETTO CA (2009) Microestrutura da fibra alimentar do albedo de laranja: um estudo por técnicas físicas e análise de imagens. Ciência e Tecnologia de Alimentos 29 (1) 124-134.
SAS Institute Inc (2002) Statistical analysis system. Release 8.1. (Software). Cary. USA.
SCHILLER J, NAJI L, HUSTER D, KAUFMANN J, ARNOLD, K (2001) ^{1}H and ^{13}C HR-MAS NMR investigations on native and enzymatically digested bovine nasal cartilage. Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine 13: 19-27
SILVA JBC, LOPES CA, MAGALHÃES JS (2004) Cultura da batata-doce. Brasília: Embrapa Hortaliças. (Embrapa Hortaliças. Sistemas de produção). Disponível em http://www.cnph.embrapa.br/sistprod/batatadoce/index.htm. Acesso em: 12 julho 2019.
SILVA JBC, LOPES CA, MAGALHÃES JS (2008) Sistema de produção da batata-doce. Brasília: Embrapa Hortaliças. (Embrapa Hortaliças. Sistemas de produção). Disponível em https://www.embrapa.br/hortalicas/batata-doce. Acesso em: 12 Agosto 2019.
SINGH N, SINGH J, KAUR L, SHODHI NS, GILL BS (2003) Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. Food Chemistry 8(1): 219-231.
SINGLETON VL, GORTN ER WA, YAN GHY (1961) Carotenoid pigments of pineapple fruit Acid-catalyzed isomerisat ion of the pigments. J. Food Science 2(6) 49 - 52.
SOUSA FC, SOUSA EP, SILVA LMM, MARTINS J JA, GOMES JP, ROCHA APT (2011) Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem de polpa de oiti. Revista Educação Agrícola Superior 26(2) 108-112.
SUAREZ MH, HERNANDEZ AIM, RODIGUEZ BRLH, CABRERA CRME, MESA DR, RODRIGUEZ-RODRIGUEZ EM, ROMERO CD (2016) Application of multidimensional scaling technique to differentiate sweet potato (*Ipomoea batatas (L.) Lam.*) cultivars according to their chemical composition. Journal of Food Composition and Analysis 46: 43-49.
TANG Y, LI X., ZHANG B, CHEN PX, LIU R, TSAO R (2015) Characterization of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three Chenopodium quinoa Willd. genotypes. Food Chemistry 166: .380–388.
TORRES LLG, EL-DASH AA, CARVALHO CWP, ASCHERI JLR, GERMANI R, MIGUEZ M (2005) Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de banana verde (Musa acuminata, Grupo AAA) por extrusão termoplástica Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos (23)2: 273-290.
TRANCOSO-REYES N, OCHOA-MARTÍNEZ LA, BELLO-PÉREZ LA (2016) Effect of pre-treatment on physicochemical and structural properties and the bioaccessibility of β-carontene in sweet potato flour. Food Chemistry, v. 200, p. 199-205, 2016.
VAN PJ, FABER M, TANUMIHARDJO SA, NESTEL P, LOMBARD CJ, BENADÉ, AJS (2005) β-carotene-rich orange-fleshed sweet potato improves the vitamin A status

of primary school children assessed with the modified-relative-dose-response test. American Journal of Clinical Nutrition 81: 1080-1087.
VIZZOTTO M, PEREIRA ES, VINHOLES JR, MUNHOZ PC, FERRI, NML, CASTRO LAS, KROLOW ACR (2017). Physicochemical and antioxidant capacity analysis of coloreds weet potato genotypes: in natura and thermally processed. Ciência Rural 47 (4): 1-8.
ZENEBON, O.; PASCUET, N. S. (2005) INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 4 ed. São Paulo: IMESP.
ZEPKA LQ, BORSARELLI CD, SILVA MAAP, MERCADANTE AZ (2009) Thermal degradation Kinetics of carotenoids in a cashew apple juice model and its impacto n the system color. Journal of Agricultural and food Chemistry 57: 7841-7845.
ZEPKA LQ, GARRUTI DS, SAMPAIO KL, MERCADANTE AZ, SILVA MAAP (2014) Aroma compounds derived from the termal degradation of carotenoids in a cashew apple juice model. Food Research International 56: 108-114.
ZEPKA LQ, MERCADANTE AZ (2009) Degradation compounds of carotenoids formed during heating of a simulated cashew apple juice. Food Chemistry 117: 28-34.
Zhu F, Wang S (2014) Physicochemical properties, molecular structure, and uses of sweet potato starch Trends in Food Science & Technology 36: 68-78.
YU S, MA Y, SUN DW (2009) Impact of amylose content on starch retrogradation and texture of cooked milled rice during storage. Journal of Cereal Science (50) 2: 139–144.

CAPÍTULO III

(Normas de acordo com a revista Engenharia Agrícola)

EFEITO DO ARMAZENAMENTO SOBRE COMPOSTOS BIOATIVOS DE FARINHA DE BATATA-DOCE BIOFORTIFICADA

EFFECT OF STORAGE ON BIOFORTIFIED SWEET POTATO FLOUR BIOACTIVE COMPOUNDS

RESUMO: A batata-doce (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.) biofortificada é fonte de carotenoides, vitaminas, compostos fenólicos e capacidade antioxidante. O objetivo foi avaliar o efeito do armazenamento sobre os compostos bioativos das farinhas de batata-doce biofortificada. As batata-doce biofortificada (acesso CNPH1210) foram secas em estufa com ventilação de ar forçada com velocidade de 1,0 m s^{-1} a 55°C até atingir teor de água 12% (b.u.). Foram avaliados a composição proximal, pH, acidez, compostos fenólicos, carotenoides, β-caroteno, cor, capacidade antioxidante por ABTS e DPPH. As farinhas foram embaladas em sacos de polietileno, seladas e armazenadas durante um ano em temperatura ambiente. As amostras apresentaram estáveis na sua composição proximal durante todo o período de armazenamento. No entanto, houve perda expressiva nos conteúdos de compostos fenólicos, carotenoides, β-caroteno, capacidade antioxidante e cor, não sendo viável o armazenamento das farinhas de batata-doce biofortificada nestas condições.

PALAVRAS-CHAVE: *Ipomoea batatas (L.) Lam*.; Estocagem; Compostos Fenólicos; Carotenoides; ABTS e DPPH.

ABSTRACT: The biofortified sweet potato (Ipomoea potatoes (L.) Lam.) is a source of carotenoids, vitamins, phenolic compounds and antioxidant capacity. The objective was to evaluate the storage effect on bioactive compounds in biofortified sweet potato flours. The biofortified sweet potatoes (access CNPH1210) were dried in an oven with forced air ventilation at a speed of 1.0 m s^{-1} at 55 ° C until reaching a moisture content of 12% (w.b.). Proximal composition, pH, acidity, phenolic compounds, carotenoids, β-carotene, color, antioxidant capacity by ABTS and DPPH were evaluated. The flours were packed in polyethylene bags, sealed and stored for one year at room temperature. The samples were stable in their proximal composition throughout the storage period. However, there was a significant loss in the contents of phenolic compounds, carotenoids, β-carotene, antioxidant capacity and color, turning impossible to store biofortified sweet potato flours under these conditions.

KEYWORDS: Storage; Phenolic Compounds; Carotenoids; ABTS and DPPH.

6.1. INTRODUÇÃO

A cultura da batata-doce (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.) apresenta elevada adaptabilidade ao ambiente tropical, com grande importância, na alimentação humana (Silva et al., 2002). No Brasil, apresenta custo de produção pequeno, com baixos níveis de investimentos, e de retorno econômico elevado (Miranda, 1987).

As raízes de polpa alaranjada se destacaram na última década graças ao seu notável valor nutricional, especialmente pela alta concentração em carotenoides e pró-vitamina A (Burri, 2011; Islam et al., 2016). Além de apresentar fibras alimentares (Mullin, 1994), compostos fenólicos (Vizzoto et al., 2017), capacidade antioxidante (Donado-pestana et al., 2012) e alta produtividade e boa aceitação pelos consumidores (Fernandes et al., 2014).

A batata-doce é uma raiz firme, com tecidos resistentes, apesar disto é uma hortaliça bastante perecível, pelo alto teor de umidade (Reess et al., 1997; Luengo e Calbo, 2001).

Os produtos perecíveis, em geral, necessitam ser armazenados, para balancear as flutuações do mercado entre a colheita e a comercialização diária, podendo ainda ser armazenado a longo tempo, para aumentar o período de comercialização, após o final da estação de colheita (Chitarra e Chitarra, 1990).

Na fase de pós-colheita a secagem é o processo mais utilizado para assegurar a qualidade e estabilidade dos produtos vegetais, pois a diminuição do teor de água do material reduz a atividade biológica, assim como as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento (Araújo et al., 2014)

Assim, o processamento dos tubérculos como farinha é a alternativa para agregar valor e ampliar o uso resultando em novas aplicações (Bovell-Benjamin, 2007). A farinha pode ser incorporada a diversos outros produtos podendo substituir parcialmente a farinha de trigo na confecção de biscoito (Infante et al. 2017), pães (Nzamwita et al., 2017), panetones (Pereira et al., 2019), bolos e outros produtos (Rodrigues-Amaya et al., 2011).

No entanto, as condições de armazenamento das farinhas de batata-doce biofortificada, como a temperatura e o tempo de estocagem, podem afetar a qualidade da farinha. Alguns trabalhos podem ser encontrados na literatura avaliando o efeito do

tempo e temperatura de armazenamento sobre os compostos bioativos em farinhas de batata (Misra et al., 2003), farinhas de batata-doce (Alves et al., 2012), farinhas de trigo (Ortolan et al., 2010), farinhas de arroz (Ito et al., 2019).

Contudo, informações sobre a perda de carotenoides em alimentos embalados durante o armazenamento são escassas e pouco exploradas, embora alguns aspectos sejam relevantes: disponibilidade de oxigênio, permeabilidade ao oxigênio através do material de embalagem, transmissão de luz, tempo e temperatura de armazenamento podem influenciar na estabilidade deste composto (Lesková et al., 2006; Rodrigues-Amaya, 1999).

Assim, no presente estudo objetivou-se avaliar a influência do armazenamento em condição de ambiente da farinha da polpa da batata-doce biofortificada sobre os compostos bioativos.

6.2. MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1. Material Vegetal e Reagentes

As raízes de batata-doce biofortificadas (genótipo CNPH1210) foram desenvolvidas pela Embrapa Hortaliças (Brasília, DF, Brasil) e cultivadas em campo experimental do Instituto Federal Goiano (Rio Verde, GO, Brasil). O ácido sulfúrico foi adquirido da Sigma-Aldrich Chemical Co. (St. Louis, MO, EUA). O hidróxido de sódio da Sigma-Aldrich (Duque de Caxias, RJ, Brasil). O hexano da Labsynth (Diadema, SP, Brasil). O Éter de Petróleo do Neon (São Paulo, SP, Brasil). A acetona Labsynth (Diadema, SP, Brasil). Amyloglucosidase, Protease, α-Amylase Sigma-Aldrich. (St. Louis, MO, EUA). DPPH (2,2- difenil-1-picril-hidrazila), ABTS (2,2-azinobis(3-ethyl-benzothiazoline-6-sulfonic acid) Sigma-Aldrich. (St. Louis, MO, EUA). Padrão de β-caroteno da Sigma -Aldrich Chemical Co. (St. Louis, MO, EUA), Ácido gálico da Vetec (Jaraguá do Sul, SC, Brasil) Folin-Ciocalteu da Sigma -Aldrich Chemical Co. (St. Louis, MO, EUA) e Trolox da Sigma -Aldrich Chemical Co. (St. Louis, MO, EUA).

6.2.2. Preparação das farinhas de batata-doce

A batata-doce utilizada para o experimento apresentou teor de água inicial de 74% (b.u.). As raízes foram lavadas e descascadas manualmente e, em seguida, a polpa foi fatiada em formato chips nas dimensões aproximadas de 4,6 x 4,0 x 0,2 cm (comprimento, largura e espessura) (Borges et al., 2008), com um ralador doméstico. As

fatias foram secas em estufa com circulação de ar, com velocidade de 1,0 m s^{-1} a 55°C. Cada amostra, composta por 0,3 kg de raízes, foi distribuída uniformemente em camadas de 1,2 cm de altura em bandejas de alumínio retangulares (25 x 10 cm), sem perfuração. Após a secagem, as amostras foram moídas em moinho (Tecnal TE-650, Piracicaba, SP, Brasil).

6.2.3. Armazenamento das farinhas de batata-doce

As farinhas foram embaladas em sacos plásticos de polipropileno de baixa densidade, seladas e armazenadas durante um ano sob condições ambientais em sala de armazenamento no Laboratório de Pós-Colheita de Produtos Vegetais do IF goiano - Campus Rio Verde-GO. Foram monitoradas as temperaturas (°C) e a umidade relativa - UR (%) no aparelho data Logger Novus (LogBox-RHT-LCD, Canoas-RS, Brasil). Os valores de temperatura (°C) e UR (%) foram registrados a cada duas horas e expressos em média mensal. O armazenamento foi de outubro de 2018 a outubro de 2019. Foram realizadas cinco avaliações durante este período, com intervalos de três meses entre cada avaliação (Outubro/2018, Janeiro/2019, Abril/2019, Julho/2019 e Outubro/2019).

6.2.4. Teor de água

O teor de água foi determinado pelo método de secagem em estufa (AOAC, 2000). Foram pesados 2 g da farinha da batata-doce biofortificada em cápsulas de alumínio previamente secas a 10 ºC em estufa com circulação de ar (Marconi MA-035, Piracicaba, SP, Brasil). As amostras foram mantidas em estufa até apresentarem massa constante.

6.2.5. Determinação de proteína

A proteína bruta foi determinada pelo método de Kjeldahl, que expressa o teor de nitrogênio orgânico total (AOAC, 2000). Foi pesado 0,25 g da amostra de farinha de batata-doce. Os tubos contendo a amostra e o ácido sulfúrico foram colocados no bloco digestor com aquecimento a 330°C até a digestão completa da amostra (coloração verde-claro). Após a digestão, as amostras foram destiladas em destilador de nitrogênio (Tecnal TE-0364, Piracicaba, SP, Brasil). A solução destilada foi titulada com ácido sulfúrico 0,05 M até coloração rósea.

6.2.6. Determinação de lipídeos

Os lipídeos foram analisados pelo método de Soxhlet (AOAC, 2000). Foram pesados 5 g de cada farinha. As amostras foram transferidas para o extrator de soxhlet (Químis Q-328G26, Diadema, SP, Brasil), que foi conectado a balões de fundo chato previamente secos em estufa de circulação de ar forçada a 105°C. Foram, então, adicionados 450 mL de hexano P.A ao extrator. O tempo de extração foi de 8 h. O resíduo extraído foi levado à estufa de circulação de ar forçada a 105°C por 1 h e resfriado em dessecador até a temperatura ambiente. As operações de aquecimento e pesagem foram repetidas a cada 30 min até obtenção das massas constantes.

6.2.7. Determinação de cinzas

Para determinação de cinzas, foram pesados 2 g de farinha de batata-doce biofortificada em cadinhos de porcelana, com massa previamente estabelecida. Os cadinhos com as amostras foram colocados na mufla (Químis Q-318S, Diadema, SP, Brasil) a 550 ± 15°C e permaneceram até completa calcinação da matéria orgânica (cerca de 5 h). As amostras foram resfriadas em dessecador e pesadas (AOAC, 2000).

6.2.8. Determinação de pH e acidez titulável

Para determinação do pH, foram pesados 5 g da farinha de batata-doce biofortificada e, em seguida, foram adicionados 50 mL de água destilada. As amostras foram agitadas até formar uma suspensão uniforme (cerca de 10 min). Em seguida, o pH foi lido em pHmetro digital (Bel S3BW, Belo Horizonte, MG, Brasil) (AOAC, 2000). Para as análises de acidez titulável, foram utilizadas as mesmas soluções preparadas para a leitura do pH. A suspensão foi filtrada em papel de filtro Whatman nº 4 para remover o resíduo. A titulação foi realizada com solução de hidróxido de sódio 0,1 N, sob agitação constante, até a solução atingir o pH de 8,2. Os resultados foram expressos em ácido cítrico (g 100 g^{-1}) (Zenebon & Pascuet, 2005).

6.2.9. Compostos fenólicos totais

A determinação espectrofotométrica dos compostos fenólicos foi realizada de acordo com metodologia descrita por Singleton (1965), utilizando o reagente de Folin-Ciocalteu. Os extratos da farinha da batata-doce biofortificada foram preparados utilizando 1 g de farinha e 20 mL de etanol 70%. A solução foi homogeneizada por 15 min e, após, foram filtradas em papel de filtro Whatman nº 4. A absorbância foi lida a 765 nm em espectrofotômetro (Biospectro SP-220, São Paulo, SP, Brasil).

6.2.10. Atividade antioxidante: ensaios com DPPH e ABTS

A capacidade antioxidante pelo radical estável 2,2- difenil-1-picril-hidrazila (DPPH) foi avaliada seguindo procedimento adaptado de Brand-Williams et al. (1995). Foram adicionados 100 μL de extratos previamente preparados para a análise de compostos fenólicos e 3,9 mL de solução de DPPH. Em seguida, a solução foi homogeneizada em agitador de tubos (Merse M81, Taquara, RJ, Brasil). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Biospectro SP-220, São Paulo, SP, Brasil) a 517 nm, após 30 min do início da reação.

Para a determinação da capacidade antioxidante por ABTS (2,2-azinobis (3-ethyl-benzothiazoline-6-sulfonic acid), uma alíquota de 30 μL do extrato foi transferida para tubos de ensaio com 3,0 mL do radical ABTS e homogeneizada. As leituras das amostras foram realizadas em espectrofotômetro a 734 nm após 6 min da mistura. A capacidade de purgar o radical ABTS e DPPH foi determinada utilizando curva padrão obtida com Trolox (0 a 300 μmol L^{-1}) e ABTS·+ e DPPH. Os resultados foram expressos em Trolox (μmol 100 g^{-1}).

6.2.11. Carotenoides totais

Para a determinação de carotenoides totais foi usado 1 g da farinha de batata-doce biofortificada e 50 mL de acetona e, após, a mistura foi homogeneizada (Marconi MA102, Piracicaba, SP, Brasil) por 1 min. Esse extrato foi filtrado a vácuo em funil de Buchner com papel filtro Whatman nº 4 e o filtrado foi recolhido em kitasato. A extração foi repetida até o resíduo estar branco. Foram colocados 40 mL de éter de petróleo. Foram acrescentados 250 mL de água destilada e, após a separação da fase aquosa inferior, foi repetida a lavagem por mais três vezes para remover toda acetona. A fase etérea foi coletada em balão volumétrico de 50 mL e as leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 450 nm (Rodrigues-Amaya, 2001). Os resultados foram expressos em μg g^{-1}.

6.2.12. β-caroteno

A determinação de β-caroteno foi realizada conforme Rodrigues-Amaya (2001). Foram utilizados os extratos previamente preparados para a análise de carotenoides totais. Uma alíquota de 5 mL de extrato seco em nitrogênio líquido foi coletada e ressuspendida em 5 mL de acetona. O β-caroteno foi quantificado em cromatógrafo

líquido de alta eficiência (HPLC) SPD-M20A (Shimadzu Co., Kyoto, Japão), com coluna C18 (ODS Hypersil 150 × 4,6 mm, 5 µm), fase móvel acetonitrila, metanol e acetato de etila (proporção variando de 10 a 80% em 22,5 min), fluxo de 0,8 mL min^{-1}, detector arranjo de fotodiodos (PDA) com varredura de 450 nm, temperatura da coluna de 22°C e padronização externa. A identificação do β-caroteno se deu com a comparação do tempo de retenção dos picos encontrados para as amostras com os obtidos a partir de padrão comercial (Sigma-Aldrich, São Paulo, SP, Brasil). Os resultados foram expressos em µg g^{-1}. O software utilizado para coletar os dados foi o *Labsolution* (versão 5.57).

6.2.13. Cor

A cor foi medida à temperatura ambiente utilizando Colorímetro Hunter Lab (Color Flex EZ, Reston, Virgínia, USA). Os resultados foram expressos em coordenadas de cores (L* a* b*). Os valores de L* (luminosidade ou brilho) variam do preto (0) ao branco (100), os valores de a* variam do verde (–60) ao vermelho (+60) e os valores de b* variam do azul ao amarelo, ou seja, de –60 a +60, respectivamente. Foram calculados a cromaticidade (C*) e o ângulo ºHue (McGuire, 1992).

6.2.14. Análise estatística

Foi usado o delineamento inteiramente ao acaso (DIC), com um genótipo de batata-doce, cinco tempos de armazenamento e quatro repetições. Os dados foram realizados a análise de variância – ANOVA do SISVAR® v. 5.7 (Ferreira, 2011) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura média mensal e a UR (Figura 1) da sala de armazenamento permaneceram entre 24,1 - 29,2°C e 45,2 - 69,9%. As maiores temperaturas foram no período de Outubro/2018 a Abril/2019 variando em torno de 27 a 29°C; no período de Maio/2019 a Julho/2019 as temperaturas médias foram decaindo em torno de 26 a 24°C e em Agosto a Outubro as temperaturas voltaram a subir variando de 27 a 28°C. Para umidade relativa os valores médios foram de 66% de Outubro/2018 a Maio/2019, a partir de Junho/2019 a Outubro/2019 houve queda variando a cerca de 52%.

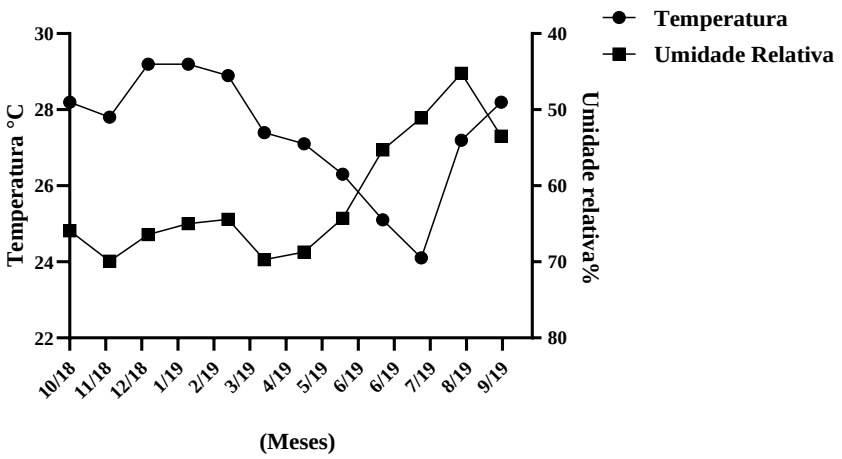

Figura 1. Valores médio da temperatura e umidade relativa durante o período de armazenamento das farinhas de batata-doce biofortificada.

As farinhas foram acondicionadas em embalagens plásticas de polietileno de baixa densidade. Esta embalagem é caracterizada como material transparente que apresenta barreira ao vapor de água e alta permeabilidade ao oxigênio (Soares et al., 2018).

A composição proximal não variou durante o período de armazenamento, os valores médios dos teores de água foram de 12,54 (g 100 g^{-1}), proteínas 4,47 (g 100 g^{-1}), cinzas 2,01 (g 100 g^{-1}), lipídeos de 0,59 (g 100 g^{-1}). A estabilidade da composição, já era esperado uma vez que as condições de armazenamento foram favoráveis para permanência destes compostos.

Não houve alteração no teor de água pois as farinhas foram armazenadas em embalagem com barreira ao vapor de água. Os teores de proteínas não reduziram, isso pode ter ocorrido pelas condições de armazenamento, os processos de desnaturação de proteína acontecem em condições de pH extremos e temperaturas de 60 a 90°C (Araujo, 2011). Os minerais mantiveram os valores, devido a capacidade de resistência a exposição ao calor, pH extremo, luz ou agente oxidante (Miler, 2010). Os lipídeos não foram degradados, pois a oxidação ocorre em condições de aquecimento em altas temperaturas (Araujo, 2011).

Resultados semelhantes de manutenção da composição proximal foram observados no estudo de farinha de batata de diferentes cultivares, armazenada em temperatura ambiente por seis meses (Misra et al., 2003).

Na Figura 2 estão os valores de pH e acidez. Observa-se que houve redução nos valores de pH (Figura 2A) e consequentemente o aumento da acidez titulável (Figura

2B). O que pode ter ocorrido é o aumento dos ácidos orgânicos durante o período de armazenamento (Goyal et al., 2017).

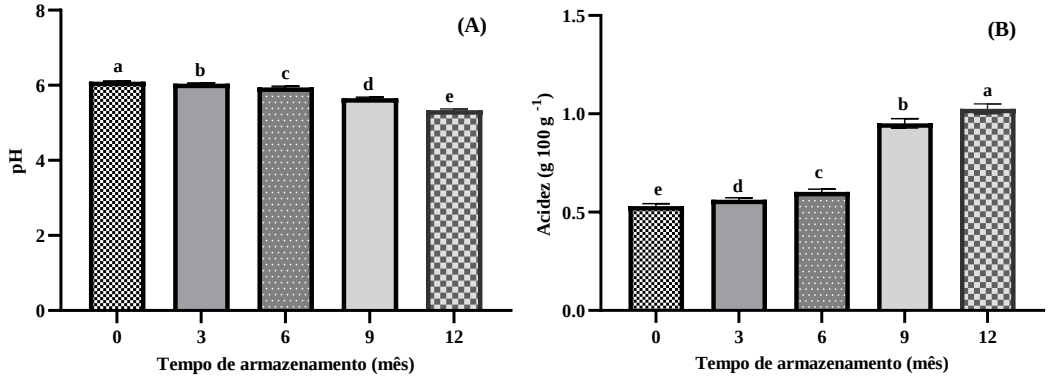

Figura 2. (A) Valores do pH, (B) acidez titulável (ácido cítrico g 100 g^{-1}) das farinhas de batata-doce biofortificada em função do tempo de armazenamento em condição ambiente.

Outros autores também relataram a redução gradual nos valores de pH durante o armazenamento. Akpe et al. (2010) observaram a diminuição nos valores de pH das amostras de farinha de trigo armazenada em temperatura ambiente por quatro meses. Shobha et al. (2014) relataram a queda do pH em farinhas de milho armazenadas em embalagem de polietileno por seis meses sob temperatura ambiente.

Na Figura 3 apresenta os valores médios dos compostos bioativos. O armazenamento reduziu a capacidade de retenção dos carotenoides (Figura 3A), uma vez que o tempo e temperatura de armazenamento, tipo de material de embalagem utilizado e atmosfera ao redor do produto resultaram em considerável degradação deste composto. Os carotenoides podem facilmente sofrer reações de oxidação promovidas por vários fatores, como calor, luz, oxigênio, ácido e enzimas (Mercadante, 2017).

O tempo e as condições de armazenamento provocaram redução nos carotenoides, mais de 33,5% de carotenoides e 36,9% de β-caroteno foram degradados logo nos primeiros três meses de armazenamento sob condições de exposição a luz, presença de oxigênio e temperatura ambiente, ao final de um ano de armazenamento os compostos perdem o total de 71,5% de carotenoides e 79,5% de β-caroteno.

Estes resultados estão de acordo com os verificados por Alves et al. (2012) que observaram que aos 50 dias de estocagem de farinha de batata-doce biofortificada acondicionada em embalagens de polietileno de baixa densidade a 25°C, houve a perda de 50% de carotenoides e β-caroteno.

Em outro estudo, Bechoff et al. (2010) obtiveram redução de β-caroteno de 64,7% em chips de batata-doce [illegible]rtificada, acondicionadas em polieti[illegible] transparente à temperatura ambiente (19,1 a 27,7°C e 42,8 a 86,5% UR) por qu[illegible] meses.

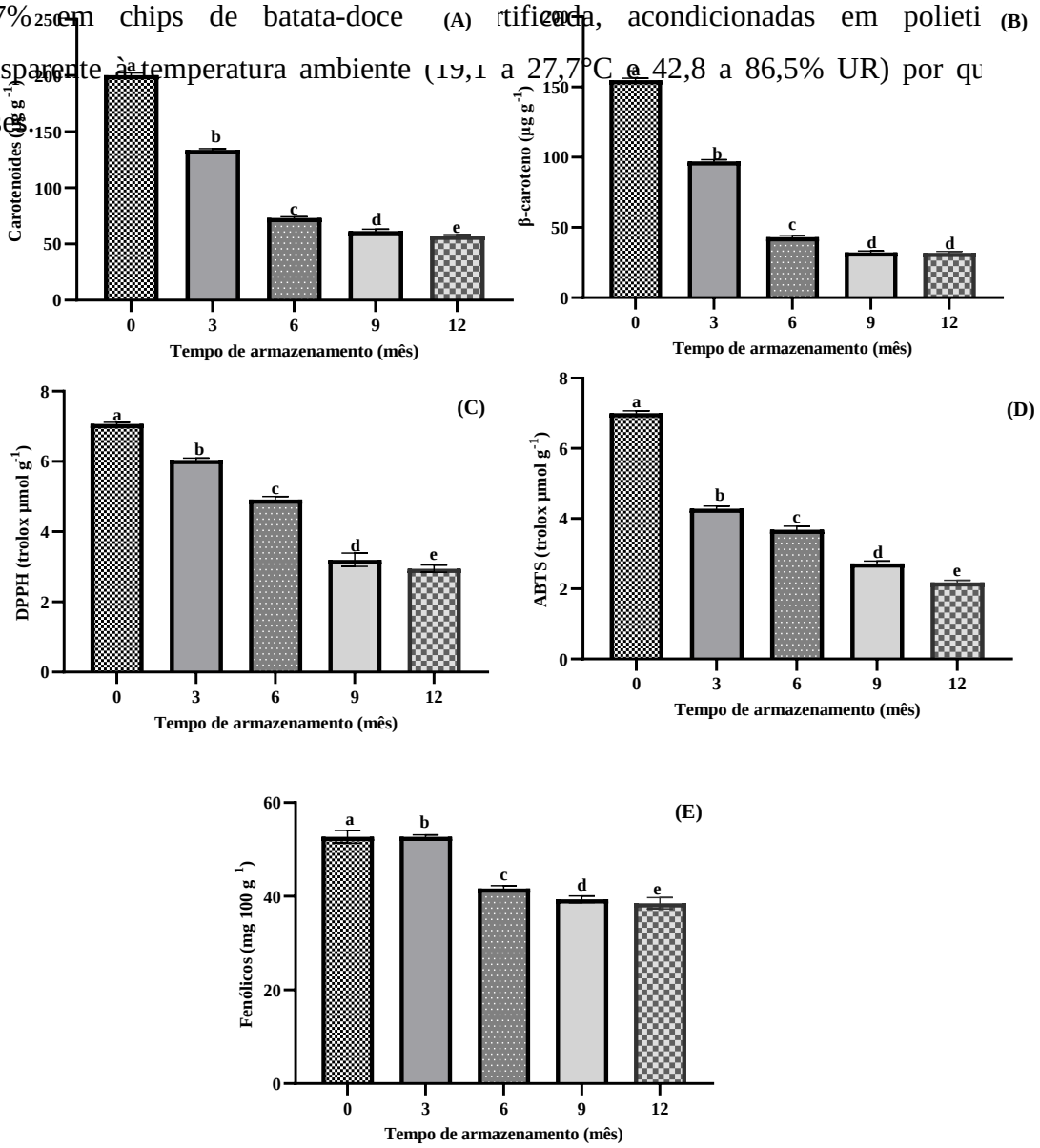

Figura 3. (A) Carotenoides totais (µg g^{-1}), (B) β-caroteno (µg g^{-1}), atividade antioxidante por (C) DPPH (trolox µmol g^{-1}), (D) ABTS (trolox µmol g^{-1}) e (E) compostos fenólicos (mg 100 g^{-1}) das farinhas de batata-doce biofortificada em função do tempo de armazenamento.

Os compostos fenólicos apresentaram redução ao longo do armazenamento, as farinhas foram expostas a alguns fatores que acarreta sua degradação. Os compostos fenólicos podem ser degradados pela presença de luz, oxigênio e calor (Britton, 1992 e Davey, 2000). Ao longo do período de armazenamento a perda total foi de 27,2% de compostos fenólicos.

Oliveira et al. (2017) também observaram a perda de compostos fenólicos em farinha e farelo de sorgo armazenado por seis meses e três temperaturas (4, 25, 40°C).

A capacidade antioxidante das amostras de farinhas de batata-doce reduziu significativamente ao longo do período de armazenamento (figura 3C). Ao final do período houve perda da capacidade antioxidante de 58% DPPH e 69% ABTS. Como observado houve degradação dos compostos bioativos avaliados neste trabalho, segundo Tang et al. (2015) a redução dos compostos bioativos reduz a capacidade antioxidante.

Ito et al. (2019) ao avaliarem farinha de arroz armazenada por 4 meses a temperatura de 25°C, observaram perda significativa de compostos bioativos e, consequentemente a degradação da capacidade antioxidante.

Na Figura 4 pode-se observar que com o aumento do tempo de armazenamento, houve tendência de aumento nos valores de luminosidade e hue, observou-se também redução nos valores de chroma. Durante o tempo de armazenamento de um ano, as amostras apresentaram diferenças para os parâmetros de cor avaliados. O aumento da luminosidade (L*) proporcionou o branqueamento da farinha durante o armazenamento, ou seja, as farinhas ficaram mais claras.

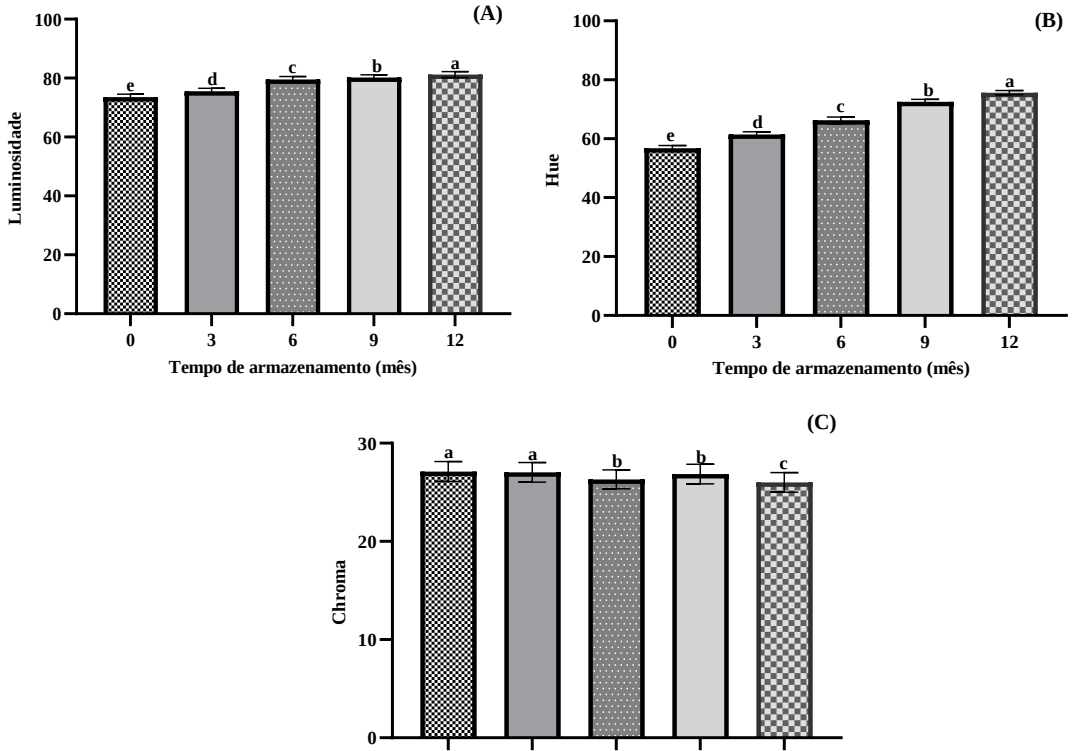

Figura 4. Valores médios dos parâmetros de cor L*, C* e °h das farinhas de batata-doce biofortificada em função do tempo de armazenamento.

A modificação da cor durante o período de estocagem, pode ter ocorrido pela oxidação dos pigmentos presente na batata-doce biofortificada, dentre estes os carotenoides que conferem a coloração laranja. Ao longo do tempo de armazenamento foi observado perda expressiva deste pigmento, resultando ao final dos 12 meses em farinhas com coloração mais claras.

Outros autores também relataram que alterações da cor creme para branca das farinhas de trigo ocorrem, principalmente, pela oxidação dos pigmentos durante o período de estocagem (Farrington et al., 1981; Rasper e Walker, 2000; Ortolan et al., 2010).

6.4 CONCLUSÃO

Durante o armazenamento houve a perda rápida nos compostos bioativos, enquanto a composição proximal se manteve ao longo dos 12 meses de armazenamento. Os compostos mais sensíveis a degradação foram os carotenoides com degradação de mais de 33,5% e 36,9% de β-caroteno logo nos primeiros três meses de armazenamento sob condições de exposição a luz e temperatura ambiente. Ao final do tempo de armazenamento os compostos sofrem perda de 71,5% de carotenoides e 79,5% β-caroteno, não sendo viável o armazenamento das farinhas de batata-doce biofortificada nestas condições.

6.5. AGRADECIMENTOS

Ao IF Goiano, à Embrapa Hortaliças, CAPES, FAPEG, FINEP e CNPq, pelo apoio financeiro indispensável para execução deste trabalho.

6.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKPE, A. R., USUOGE, P. O. A., ENABULELE, O. I., ESUMEH, F. I. AND OBIAZI, H. A. (2010). Bateriological and physicochemical quality of wheaten white bread flour made for nigerian market. Pak Journal Nutrition 9: 1078-1083.

ALVES, R. M. V.; ITO, D.; CARVALHO, J. L. V. de; MELO, W. F. de; GODOY, R. L. de O. (2012) Estabilidade de farinha de batata-doce biofortificada. Brazilian Journal Food Technology 15 (1): 59-71.

ARAÚJO, J. M. A. (2011) Química de alimentos: teoria e prática. 5ed. Editora UFV 1: 601-612.

ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; SOUZA, C. M. A.; GONÇALVES, A. A.; VILHASANTIS, H. C. B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.18, n.3, p.279–286, 2014.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. (2000) Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Arlington: A.O.A.C. 17th ed.

BECHOFF A, WESTBY A, MENYA MG, TOMLINS K (2011) Efeito de pré-tratamentos por reter carotenoides totais em batatas fritas laranja-doces-doces secadas e armazenadas Jornal da Qualidade Alimentar 34: 259 – 267.

BORGES, S. V.; MANCINI, M. C.; CORRÊA, J. L. G.; NACIMENTO, D. A. (2008) Secagem de fatias de abóboras (Cucurbita moschata, L.) por convecção natural e forçada. Revista Ciências e Tecnologia de Alimentos 28: 245-251.

BOVELL-BENJAMIN, A.C. (2007) Sweet potato: A review of its past, present, and future role in human nutrition Advances in Food & Nutrition Research, 52: 1-59.

BRITTON, G. (1992) Carotenoids. In: HENDRY, G. F. (Ed.) Natural foods colorants. New York: Blackie 5: 141-182.

BURRI, B J. (2011) Avaliando a batata-doce como alimento de intervenção para prevenir a deficiência de vitamina A Revisões Abrangentes em Ciência de Alimentos e Segurança Alimentar 10: 118 – 130.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. (1990) Pós-colheita de frutos e hortaliças: 1. Ed. Lavras: ESAL/FAEPE.

DAVEY, M.W.; MONTAGU, M. V.; INZÉ, D.; SANMARTIN, M.; KANELLIS, A.; IRIS, N. S.; JOHN, B.; FLETCHER, J. (2000) Plant L-ascorbic acid: chemistry function metabolism bioavailability and effects of processing. Journal Science Food Agriculture 80 (7) 825-860.

DONADO-PESTANA, C. M.; SALGADO, J. M.; RIOS, A. O.; SANTOS, P. R.; JABLONSKI, A. (2012) Estabilidade de carotenóides, fenólicos totais e capacidade antioxidante in vitro no processamento térmico de cultivares de batata-doce de polpa alaranjada (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.) Cultivadas no Brasil. Alimentos para plantas para nutrição humana 67: 262 – 270.

FARRINGTON, F. F.; WARWICK, M. J.; SHEARER, G. (1981) Changes in the carotenoids and sterol fractions during the prolonged storage. of wheat flour. Journal of the Science Food and Agriculture 32 (9) 948-950.

FERNANDES, R. F.; AMARO, G. B.; MADEIRA, N. R.; CAVALIERI, S. D.; MELO, W. F. (2014) Biofortificação: Batata-doce Beauregard. Brasília, DF: Embrapa 30.

FERREIRA, D. F. (2011) Sisvar: A computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia 35: 1039-1042.

GOYAL, P.; CHUGHT, L. K.; BERWAL, M. K. (2017) Storage effects on flour quality of commonly consumed cereals. Journal of Applied and Natural Science 9 (1): 551 - 555.

ITO, V. C. ZIELINSKI, F. A. A.; MOTTIN, I.; SPOTO, M.; NOGUEIRA, A.; LACERDA, L. G. (2019). Efeitos da radiação gama na cinética de estabilidade e degradação de compostos fenólicos e atividade antioxidante durante o armazenamento de farinha de arroz preto (Oryza sativa L.). Arquivos Brasileiros de Biologia e Tecnologia 62: 1-14.

LESKOVÁ, E.; KUBÍKOVÁ, J.; KOVÁCIKOVÁ, E.; KOSICKÁ, M.; PORUBSKÁ, J.; HOLCÍKOVÁ, K. (2006) Perdas de vitamina: Retenção durante o tratamento de calor e modificações contínuas expressas por modelos matemáticos Revista de Composição e Análise de Alimentos 19: 252 – 276.

LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G. (2001) Armazenamento de hortaliças: 1. Ed. Brasília: Embrapa.

MCGUIRE, R. G. (1992) Reporting of Objective Color Measurements Hort Science 27 (12): 1254- 1255.

MERCADANTE, A.Z. (2017) Pigmentos Naturais. In: Lajolo, F.M.; Mercadante, A.Z. Química e Bioquímica dos Alimentos. 1 ed.: Atheneu 1: 241-280.

MILER D, D. Minerais. (2010) In: DAMODARAN S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. Química de alimentos. 4 ed. Artmed 1: 409 – 444.

MIRANDA, J.E.C. de; FRANCA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; AGUILAR, J.A.E. (1987) Cultivo de batata-doce (*Ipomoea batatas (L.) Lam*.). Brasília, DF, EMBRAPACNPH 7.

MISRA, A., KULSHRESTHA, K. (2003) Efeito do armazenamento no valor nutricional da farinha de batata feita a partir de três variedades de batata. Plant Foods for Human Nutrition 58: 1-10.

MULLIN, W. J. N.; ROSA, L. B. REYNOLDS. (1994) Dietary fibre in sweet potato. Food Res. Int. 27:563–565.

NENADIS, N.; WANG, L.F.; TSIMIDOU, M. ZHANG, H.Y. (2004) Estimation of scavenging activity of phenolic compounds ising the ABTS assay. Journal of Agricultural and Food Chemistry 52 (15) 4669-4674.

OLIVEIRA, K. G.; QUEIROZ, V. A. V.; LANAMAR, C. A.; CARDOSO, L. M.; SANTANA, H. M. P.; ANUNCIAÇÃO, P. C.; MENEZES, C. B.; SILVA, E. C.; BARRO, F. (2017) Effect of the storage time and temperature on phenolic compounds of sorghum grain and flour. Food Chemistry 216: 390-398.

ORTOLAN, F.; HECKTHEUER, L. H.; MIRANDA, M. Z. (2010) Efeito do armazenamento à baixa temperatura (-4 ºC) na cor e no teor de acidez da farinha de trigo. Ciências e Tecnologia de Alimentos, 30 (1) 55-59.

PEREIRA, A. P. A.; CLERICI, M. T. P. S.; SCHMIELE, M. GIOIA JUNIOR, L. C. NOJIMA, M. A. STEEL, J. C. CHANG, Y. K. PASTORE, G. M. NABESHIMA, E. H. (2019) Farinha de batata-doce de polpa alaranjada como precursora do aroma e da cor de panettonas de massa azeda. Food Science and Technology 101: 145-151.

RASPER, V. F.; WALKER, C. E. Quality evaluation of cereals and cereal products. In: KULP, K.; PONTE, J. G. (2000) (Ed.). Handbook of cereal science and technology. New York: Marcel Dekker 1: 505-537.

REES, D.; KAPINGA, R.; RWIZA, E.; MOHAMMED, R.; VANOIRSCHOT, Q.; CAREY, EWESTBY, A.; VAN-OIRSCHOT, Q. (1998) The potential for extending the self-life of sweetpotato in East Africa though cultivar. Tropical Agriculture 75(1): 208-211.

RODRIGUES-AMAYA, D. B. (2001) A guide to carotenoid analysis in foods. Washington: ILSI - International Life Sciences Institute 1: 64-72.

RODRIGUES-AMAYA, D.B. (1999) Changes in carotenoids during processing and storage of foods Archivos LatinoAmericanos de Nutrition 49: 38-47.

SHOBHA, D.; DILEEP KUMAR, H. V.; SREERAMASETTY T. A.; K. T.; SHIVAKUMAR, G. B. (2014) Storage influence on the functional, sensory and keeping quality of quality protein maize flour. Journal Food Science Technology 51(11):3154–3162.

SILVA, J. B. C.; MAGALHÃES, J. S. (2002) Cultura da batata-doce. In: CEREDA MP; Agricultura: Tuberosas amiláceas Latino Americanas 2: 448-504.

SINGLETON, V. L., GORTN ER, W. A., YAN G, H.Y. (1961). Carotenoid pigments of pineapple fruit. 1. Acid-catalyzed isomerisat ion of the pigments. Journal Food Science 2 (6): 49 -52.

SOARES, B. M. C. (2018) Princípios de embalagens de alimentos. In: AUGUSTO, P. E. D. Princípios de tecnologia de alimentos. 1ed. Atheneu. 3: 179-205.

TANG Y, LI X., ZHANG B, CHEN PX, LIU, R., TSAO, R. (2015) Characterization of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three Chenopodium quinoa Willd. genotypes. Food Chemistry 166: .380–388.

VIZZOTTO, M., PEREIRA, E. S., VINHOLES, J. R., MUNHOZ, P. C., FERRI, N. M. L., CASTRO, L. A. S., KROLOW, A. C. R. (2017). Physicochemical and antioxidant capacity analysis of coloreds weet potato genotypes: in natura and thermally processed. Ciência Rural 47 (4): 1-8.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S. (2005) INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 4 ed. São Paulo: IMESP.

7.0 CONCLUSÃO GERAL

Dentre os modelos estudados Wang e Singh foi selecionado para representar a cinética de secagem da polpa da batata-doce biofortificada, por exibir o melhor ajuste a maioria das condições. Os critérios de AIC e BIC foram adequados para selecionar um único modelo. O coeficiente de difusão efetivo aumentou com a elevação da temperatura do ar de secagem e a energia de ativação para a difusão líquida foi de 29,18 kJ mol^{-1}.

As temperaturas de secagem não alteraram a composição proximal, índice de absorção em leite, estruturas morfológicas e espectros de infravermelho das amostras secas a 45, 55, 65 e 75°C. Para estas características as farinhas poderiam ser produzidas na temperatura de 75°C proporcionando economia no tempo de secagem.

Os compostos fenólicos, capacidade antioxidante, carotenoides, β-caroteno, cor, índice de absorção em água, índice de absorção em óleo reduziram com o aumento da temperatura de secagem, assim como nos sinais de ressonância magnética nuclear ocorreu pequena alteração na razão cristalina/amorfa das amostras secas 65 e 75°C. A temperatura de 45°C foi a mais indicada para produção das farinhas, já que apresentaram maiores conteúdos de compostos bioativos, sendo importante fonte de carotenoides.

Os índices de absorção em leite, óleo e em água apresentaram baixos valores em todas as temperaturas avaliadas. A farinha pode ser utilizada como cobertura adicionada aos produtos fritos pelo baixo índice de absorção em óleo tornaria o produto mais saudável. E também poderia ser utilizada para produção de biscoitos e cookies pois o baixo índice de absorção em água é desejável para manter as propriedades de crocância.

Durante o armazenamento da farinha de batata-doce biofortificadas secas a temperatura de 55°C, pode-se observar que houve a perda rápida nos compostos bioativos, enquanto a composição proximal não mudou ao longo dos 12 meses de armazenamento. Os compostos mais sensíveis a degradação foram os carotenoides que degradaram 33,5% e 36,9% de β-caroteno logo nos primeiros três messes de armazenamento sob condições de exposição a luz e temperatura ambiente, ao final do tempo de armazenamento os compostos sofrem perda de 71,5% de carotenoides e 79,5% β-caroteno, não sendo viável o armazenamento das farinhas de batata-doce biofortificada nestas condições.